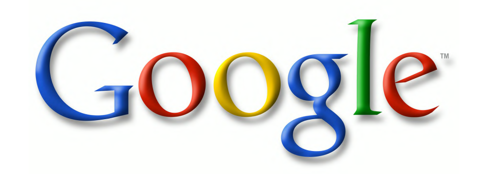
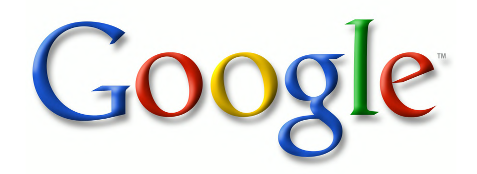



Google


LANE MEDICAL LIBRARY STANFORD
2 45 0444 0815


LANE
MEDICAL
LIBRARY
SEAL OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY
SEMPER VIRENS
1885
THE BARKAN LIBRARY OF
OPHTHALMOLOGY AND OTOLOGY

BEITRÄGE

ZUR

PHYSIOLOGIE UND PATHOLOGIE

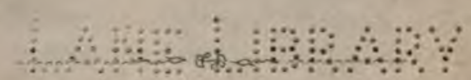
DES

AUGES.

VON

PROF. JOSEF R. V. HASNER.

MIT 2 XYLOGRAPHIEN IM TEXT.



PRAG 1873.
VERLAG DER J. G. CALVE'schen K. K. UNIV.-BUCHHANDLUNG.
(OTTOMAR BEYER)

Druck von Heinr. Mercy in Prag.

Vorwort.

In den vorliegenden Heften hat der Verfasser einen Standpunkt eingenommen, welcher vielleicht hie und da Anstoss finden wird, denn es wurden pathologische, physiologische und philosophische Principien erörtert, und bei der Arbeitstheilung, welche in unseren Tagen auch auf geistigem Gebiete stattgefunden hat, könnte es Manchem befremdend erscheinen, dass sich ein oculistischer Specialist an physiologische und philosophische Grundsätze heranwagt. Aber ich gebe zu bedenken, dass ja der Pathologe die Physiologie nicht entbehren kann, und wo die Letztere mit ihren Problemen noch nicht zum Abschlusse gekommen ist, wird der Pathologe genöthigt, mit Hand anzulegen. Kann ja doch die Physiologie gleichfalls der Pathologie nicht entrathen, und emanirt manch physiologisches Gesetz geradezu evident nur aus pathologischen Erscheinungen! Und schliesslich: — was sind und bedeuten wir denn Alle, wenn wir nur an der Scholle des Experimentes und der Symptome kleben bleiben; und uns nicht zu philosophischen Abstractionen aufzuschwingen vermögen!

Dies mag mich daher entschuldigen und rechtfertigen, wenn ich hie und da physiologisches und philosophisches Gebiet betrete. Gelangte ich doch auch dahin unwillkürlich, Schritt vor Schritt, indem ich aus der Verwirrung, in welcher sich bis zum heutigen Tage die Ansichten über das Schielen befinden, herauskommen wollte. Die erste Abhandlung enthält in Kürze den schliesslich gewonnenen allgemeinen Standpunkt. Ich bekenne mich

darin zur Entwickelungslehre auf dem Gebiete des Sinnenlebens im Gegensatze zu Empirismus und Nativismus. In der zweiten wird der Nachweis des Modus der Wirksamkeit der Bewegungskräfte des Auges auf Grund der Experimente mit dem automatischen Auge geliefert. Die dritte entwickelt die Theorie der parallelen Blicklinien, und schien es nöthig, einmal die Form der Parallelbewegung der Augen für sich genauer zu erörtern, wobei manche neue physiologische Gesichtspunkte gewonnen wurden, welche namentlich von wichtigem Einflusse auf die Erklärung pathologischer Formen, wie das Schielen, sind. — In der vierten Abhandlung habe ich die von mir 1859 statuirte Lehre von den Projectionssphären wieder aufgenommen, und nach einem erweiterten Gesichtspunkte dargestellt. Ich darf wohl einiges Gewicht auf diese Abhandlung legen, worin das Zustandekommen der Tiefenempfindung, wie ich glaube, exacter als bisher begründet ist. Die fünfte Abhandlung enthält meine Theorie des Schielens, wie ich sie seit mehreren Jahren lehre, und welche sich wesentlich auf die in der dritten und vierten entwickelten Grundsätze stützt. Sie ist so einfach und zwingend, dass ich glaube, man würde dieselbe kaum beanständen können. Hier habe ich ferner mein Verfahren der Strabotomie und Enucleation des Auges kurz beschrieben. In der 6. und 7. Abhandlung sind zwei von mir angegebene neue Instrumente dargestellt und die 8. schliesst mit einigen Bemerkungen über Tatuage der Hornhaut.

Prag, Jänner 1873.

I. Sinnenleben und Sehen.

Die ältere Psychologie und Physiologie haben einander lediglich darin unterstützt, dass sie beide zwischen sich eine recht hohe Scheidewand aufführten. Es ist Aufgabe der neueren Forschung geworden, diese Scheidewand einzureissen, um einen freieren Einblick in die Lebensvorgänge zu gewinnen. Die älteren anthropocentrischen Lehren, später die Corpuscularphilosophie waren die Vorboten einer philosophischen Richtung, welche das Subject als ein Untheilbares, in dem alle Formen des Objectes a priori liegen, angenommen hat. Begann doch Schopenhauer, der letzte bedeutende Repräsentant des Idealismus, seine Philosophie mit den Worten: die Welt ist meine Vorstellung! und behauptete, dass dieser Erfahrungssatz allgemeiner als alle anderen, selbst als Zeit, Raum und Causalität sei. Wir müssen jedoch sagen: die Welt stellt sich allerdings in unserer Vorstellung buchstäblich uns vor, aber dies hindert nicht, dass sie selbst real sei. Vielmehr ist jene Vorstellung nur ein Spiegelbild der Welt, welches gerade dazu dient, den allgemeinen absolut giltigen Beweis für die Realität der Welt herzustellen. In unseren Sinnen liegt die Bestätigung der Realität der Welt, insofern sie den Rechenbeweis, den logischen Beweis hiefür zu liefern vermögen. Wir fassen die Welt in unserer Vorstellung, aber durch den mathematischen Beweis der Rückconstruction, und ohne das Object der Welt wäre alle subjective Abstraction unmöglich.

Es dürfte kaum gefehlt sein, wenn wir annehmen, dass der Grund aller Irrungen der idealistischen Philosophie wesentlich darin zu suchen sei, dass sie zwischen Intuition und Abstraction eine scharfe Scheidewand zog. Hiedurch hat sie sich von der Naturwissenschaft getrennt, ist aus dem Garten der Natur in luftige Salons eingezogen, in denen sie ungestört arbeiten kann. Es wäre dagegen nichts zu sagen, wenn sie die Leiter, welche in jene luftigen Salons führt, nicht umgestürzt hätte, so dass sie, von der Welt abgesperrt, sich von ihr immer mehr entfremdete und verkümmerte. Die Naturwissenschaft muss endlich die Aufgabe übernehmen, die Stufen wieder aufzubauen, um ihre verschmachtende Schwester zu retten. Sie wird es vollbringen, mag diese auch jetzt noch, gleich einer spröden Schönen, sich gegen solche Rettung zieren und sträuben, und in dem Wahne leben, dass sie allein stark genug sei, die Räthsel der Welt durch die reine Begriffswissenschaft zu lösen.

Schon rührt es sich gewaltig unter den Naturforschern unserer Tage. Das Bedürfniss philosophischer Forschung wird immer allgemeiner, und die Einsicht dringt immer mehr durch, dass wir denn doch gar unbedeutende Leute bleiben, wenn wir uns begnügen, am schaalen Zeuge zu kleben, und froh sind, wenn wir irgendwo „Regenwürmer" finden, und dieselben einfach zur Sammlung der anderen legen. Die nächste Epoche der Naturwissenschaften wird und muss der Naturphilosophie gehören! und der Weg zur richtigen Erkenntniss führt durch die Kritik der Philosophie.

Zwischen Intuition und Abstraction ist offenbar kein Unterschied als jener des Grades, der Richtung und der Zeit, eine scharfe Grenze darf hier nicht gezogen werden. Sowohl die Intuition als Abstraction gehen innerhalb des Organischen, speciell innerhalb des Nervensystems vor sich. Die Abstraction ist die Fortwirkung der Intuition und daher eine Dependenz derselben. Wo sich ein Sinneneindruck geltend macht, kann dies nur dadurch geschehen, dass er gewisse Veränderungen im Organischen hervor-

ruft. Diese Veränderungen, welche es auch sein mögen, sind nunmehr, ganz allgemein ausgedrückt, Manifestationen des Individuums, welche je nach der Susceptibilität des Organischen, sich als sehr mannigfache, zeitlich und räumlich mehr minder dauernde und verbreitete Veränderungen und Gestaltungen des Organischen darstellen werden. Diese Gestaltungen nennen wir in einer Form und Richtung Denkvorgänge. Sie kommen bei uns durch Reflexwirkung auf den Kehlkopf als Sprache, durch jene auf die Hand als Schrift zur Aeusserung. Der Begriff kann aber nicht, wie Kant anzunehmen scheint, durch eine Art Generatio aequivoca, frei entstehen, er kann sich allerdings zu einem von den Schlacken der Erfahrung gereinigten, segenannten transcendentalen Denken emporarbeiten, aber seinen Ursprung aus den sinnlichen Vorgängen darf er niemals verläugnen. Er hat seinen bürgerlichen Namen von dem sinnlichen Vorgange des Greifens erhalten, und keinerlei Inhalt, welcher es auch sei, kann ihn zu einem von der sinnlichen Welt abgelösten, freischwebenden Wesen machen. Denn alle Veränderungen des Lebendigen müssen an Etwas haften, die sogenannten abstracten Begriffe und das Bewusstsein machen davon keine Ausnahme. „Das Bewusstsein ist nicht, — wie Du Bois Raymond annimmt, — etwas Neues, bis dahin Unerhörtes, welches erst an einem Punkte der Entwickelung des Lebens auf Erden auftritt, etwas Unbegreifliches, etwas, vor welchem der in — ∞ angesponnene Faden des Verständnisses zerreisst."

Es ist vielmehr allenthalben vorhanden, als Zellenbewusstsein überall im Organischen, dessen Grundbedindung es ist, ohne welchem gar kein organisches Leben wäre. Im Totalindividuum stellt es in jedem Thiere, in jeder Pflanze ganz dasselbe dar, welches man zu aller Zeit mit den verschiedenen Namen der Idee des Individuums, der Lebenskraft, dem Erhaltungstriebe u. s. w. bezeichnet hat. Die Individualität besteht in Thier und Pflanze stets aus einer Summe von Centren, die wieder in einem oder mehreren Hauptcentren zusammenlaufen. Und alle diese haben ihr „Bewusstsein."

Gehen wir zu dem Leben der Sinne über, so setzt sich alle Sinnesthätigkeit aus einer Reihe von physischen Impressionen zusammen, aus welchen durch Construction der Begriff der Qualitäten der Aussenwelt hervorgeht. Diese Construction kann nichts Anderes sein, als eine Form des mathematischen Calculs. Die Sinneseindrücke sind nämlich mathematische Factoren oder Vorlagen, welche mit dem Sinnesorgane in Contact treten, worauf die Reaction durch einen mehr oder minder exacten Calcul erfolgt. Der Schluss des Sinnesactes ist also ein Rechnungsresultat.

So besitzt der Sehsinn in der That alle Eigenschaften, um sowohl Zeit- als Raumintervalle zu messen und zu berechnen. Namentlich hat er mit Rücksicht auf letztere Function die evidenteste Einrichtung eines geometrischen Messapparates. Freilich darf man sich die Sinnesfunction nicht so vorstellen, dass das Auge beim Sehen jedesmal auch wirklich zu einem vollkommen exacten ziffermässigen Resultate gelange, noch weniger, dass dieses Resultat auch in Worten ausgedrückt werden könne. Im Gegentheile sind die allermeisten Bestimmungen des Sehsinnes über Grösse, Entfernung, Farbe etc. der Objecte lediglich constructiv und inexact. Es handelt sich im gewöhnlichen Leben auch nur höchst selten um einen vollkommenen Calcul, noch seltener um die Formulirung desselben. Um uns z. B. beim Gehen, Arbeiten, in Gesellschaft etc. zu orientiren, reichen Näherungswerthe vollkommen hin. Aber Anlage und Uebung im Vereine gelangen hier oft so rasch zu so exacten Resultaten, dass sie bei Ungeübten Staunen und Bewunderung erregen. Mit welcher Schnelligkeit und Genauigkeit schätzen nicht Forstleute, Ingenieure, Artilleristen u. a. Entfernungen der Objecte! Und besteht nicht die Kunstfertigkeit des Portraitmalers wesentlich darin, dass er Grössen- und Farbenwerthe des Originals auf Grundlage genauer Messung, oft selbst schwieriger Reductionen der von dem Originale auf seinen Netzhäuten projicirten Bilder wiedergibt?!

Wenn wir dies erwägen, so kommen wir sofort zu dem wichtigen allgemeinen Grundsatze, dass allenthalben das Mass der Leistung eines Organes eine Function sowohl der Anlage als der Uebung ist. Aber beide unterliegen dem Gesetze der Entwickelung, und bewahren nach dieser Seite hin jede für sich eine gewisse Selbständigkeit.

Bei bedeutend entwickelter Anlage kann nämlich die Leistung dennoch gering sein, wenn die Uebung gering ist, und umgekehrt kann die Leistung bei geringer Anlage durch Uebung exacter werden. Absolut jedoch fordert selbstverständlich jede Leistung sowohl Anlage als Uebung derselben, und jede derselben besitzt bei freiem Spielraum doch gewisse unübersteigliche Grenzen, welche eben durch das immanente Princip der Individualität gegeben sind.

Die Beziehungen der Physis zur Psyche, die Variabilität der Erscheinungen des Lebens innerhalb der Individuen, demnach auch jene der Sinnesorgane, sind also keineswegs räthselhaft, denn sie bedeuten allenthalben Gestaltungs- und Thätigkeitsformen, welche sich auf mathematische Gesetze stützen und auf solche zurückgeführt werden können.

Was wir schwerer zu erfassen vermögen, ist der Plan, das Ideal, das immanente Princip, nach welchem jene Gestaltungsformen zu Stande gekommen sind, und als solche ihre Individualität, ihr specifisches Ideal entwickeln und bewahren. In neuester Zeit drängt sich allerdings eine Theorie, welche man die Darvin'sche zu nennen pflegt, immer mehr in den Vordergrund, nach welcher, beherrscht vom Gesetze der Transmutation die höheren Formen sich aus den niederen einfach im Kampfe um das Dasein entwickelt haben sollen. Es müsste somit, wie alles Leben, so auch das Ideal jeder lebendigen Individualität lediglich eine Folge des aus dem Kampfe des Beharrungsstrebens des Einen mit jenem des Anderen hervorgehenden Rechtes des Stärkeren sein. Aber dieses Gesetz kann nicht für sich der Grund der Erscheinungswelt sein, denn diese

müsste eine endliche Grenze haben, oder ins Chaos führen, wenn nicht mindestens zwei Gesetze, das eine auf die Erhaltung, das andere auf stetigen Wechsel der Formen zugleich abzielten. Soll daher jene Theorie Geltung haben, so müsste sie dahin formulirt werden, dass im ewig fortdauernden Kampfe der beiden Kräfte — Transmutation und Stabilität — eine ewige Entwickelung der Erscheinungswelt vom Einfachen zum Zusammengesetzteren nur insofern möglich ist, als diese Entwickelung nach dem Kräfteparallelogramm eine Mittelkraft bedeutet, welche aus der Wirkung zweier Seitenkräfte — Transmutation und Stabilität — resultirt. Nennen wir die eine dieser Seitenkräfte besser Attraction, Gravitation oder Schwere und die andere Fliehkraft oder Centrifugale, so wird die Application derselben auf die organische Welt offenbar durchsichtiger und greifbarer, denn diese beiden Kräfte gelten bereits allgemein als das Grundprincip, das Bewegende, der sogenannten leblosen, anorganischen Natur, und es ist nicht der geringste Grund vorhanden, sie aus der organischen Welt auszuschliessen, da letztere sich mit, auf und aus der ersteren entfaltet.

Doch wir kehren nach dieser kurzen Abschweifung zur Erklärung der sinnlichen Vorgänge zurück. Hier begegnen wir sofort dem bis zum heutigen Tage noch offenen Kampfe zwischen Empirismus und Nativismus. Die Einen — Nativisten — leiten alle Sinnesvorgänge von angebornen Einrichtungen, die Anderen — Empiristen — von der Erziehung, dem erlernten Verständniss ab. Nach den Einen wäre also, anders ausgedrückt, die Seele schon bei der Geburt ein fertiger Rechenmeister, nach den Andern müsste sie das Rechnen erst lernen. Man sieht sofort, dass die Einen ihren Schwerpunkt in der Anlage, die Anderen in der Uebung suchen. Nun wurde bereits oben erwähnt, dass allerdings sowohl Anlage als Uebung die Leistung der Organe allgemein bedingen, und es erhebt sich daher die Frage über den Antheil jeder derselben bei den Sinnesvorgängen.

Betrachten wir zum Zwecke der Lösung dieser wichtigen Frage die Erscheinungswelt im Ganzen, so kann dieselbe nur insofern wirklich sein, als sie in Raum und Zeit besteht. Da aber sowohl Raum als Zeit nichts Anderes als mathematische Begriffe sind, so müssen die Principien der Zahlen die Principien der Dinge sein (Pythagoras), und wir können uns allgemein mit der Ueberzeugung begnügen, dass die Erscheinungswelt, wo und wie sie auch sei, immer dann in ihrem Wesen richtig erkannt werde, wenn sie richtig gerechnet wird.

So geben, um ein Beispiel anzuführen, 452 Billionen Zeitintervalle in der Secunde (einschliesslich bestimmter Wellenlänge und Schwingungsdauer) den Begriff „Roth.“ Wo immer irgend sich so viele und solche Schwingungen geltend machen, sind sie nichts Anderes und können nichts Anderes sein, als dasjenige, was wir roth nennen. Was hiebei schwinge, kommt an sich nicht in Frage. Es kann irgend ein (hypothetischer) Aether sein oder es schwingen Nervenelemente oder andere Stoffe. Auch vom Orte der Schwingungen ist der Begriff des Roth unabhängig. Aber allerdings erhebt sich allenthalben auch mit sofort die Frage über die räumliche Bedeutung der bestimmten Zeitintervalle, und damit gelangt der zeitliche Begriff an sich in die räumliche Relation, mit welcher auch die Frage über die Beziehungen jener Zeitintervalle zu dem organischen Individuum zusammenhängt. Diese Frage löst sich leicht und einfach durch die Thatsache, dass die Erscheinung des Roth von doppelter Art sein kann, subjectiv nämlich und objectiv. Individuelle Rothschwingungen der Sehnervenfasern, welche sich über das Gebiet des Nerven nicht verbreiten, daselbst beginnen und terminiren, geben den Begriff des subjectiven Roth; objectives Roth dagegen bedeutet die Fortpflanzung von Rothschwingungen der Aussenwelt, welche sich im Raume von ihrer Aussenquelle ununterbrochen bis zu dem Sehnerven verbreiten, ihn zu gleichen Schwingungen erregen, erscheinen und damit zum Bewusstsein gelangen. (Neuerlich hat H. Kaiser (physiol. Optik) die

Vermuthung ausgesprochen, dass sich die Aetherschwingungen im Gewebe der Retina auch in Wärme umsetzen können; ferner glaubt er, dass die Geschwindigkeit der Bewegung von Aethermolecülen in der Nervenmasse abnehmen müsse, weil die Masse eines Aetherelementes im Vergleich zu jener eines Nervenelements sehr klein sei. — Dies letztere ist aber in hohem Grade hypothetisch, da es sich um Umsetzung von allgemeinen Naturkräften in organische Lebensvorgänge handelt, und nichts zu der Annahme zwingt, dass die Leitung von Bewegungsformen des Lichts in den Nerven mehr Hindernisse finde als in anderen Stoffen).

Die objective Erscheinungswelt kommt also im Nervensystem der Thiere zum Bewusstsein. Diese Erscheinungsart, das Bewusstwerden der Aussenwelt im Organischen setzt nun thatsächlich stets eine Einrichtung der Organe voraus, wodurch die Fortwirkung, die Wiederholung des äusseren Processes im Innern ermöglicht wird. Derselbe muss sich im Organischen einleben können, damit er daselbst erscheine. Anders ausgedrückt, muss die Leistungsfähigkeit ganz entschieden angeboren, im Organe begründet sein. Das Auge kann niemals riechen oder hören, sondern es muss sehen oder doch schauen können.

Bei dieser Auffassung der Verhältnisse ist es nun nicht wohl begreiflich, dass sich Nativisten und Empiristen so scharf getrennt haben. Was ist denn bei den Sinnesvorgängen, das zu Streit Veranlassung gäbe? Gewisse immanente Einrichtungen der Anlage in den Sinnesorganen müssen doch wohl die Empiristen ebenso zugestehen, als es die Nativisten thun. Denn wäre die anatomische und physiologische Einrichtung unserer Sinnesorgane nicht ganz so, wie sie ist, so müsste auch deren Leistung und unser Urtheil über die Sinneswelt anders sein. Ist nun die specifische Leistungsfähigkeit eines Organes schon bei der Geburt des Individuums vorhanden, so muss sie sich auch schon beim ersten Gebrauche, bei der ersten Thätigkeitsäusserung des Organes specifisch manifestiren.

Freilich kann die Exactheit der Leistung, ich möchte sagen die Geläufigkeit des Organes, nur durch Erziehung und Uebung erlernt werden. Jede Sinnesfunction ist nämlich einer Vervollkommnung, einer Entwickelung innerhalb der dem Individuum zukommenden idealen Grenzen der Anlage sowohl als der Uebung fähig, welche sich nach den verschiedenen Arten und Gradationen der Verwendung richtet; damit vereinigen sich, wie ich glaube, Nativismus und Empirismus, und jeder Streit muss entfallen, denn die Seele ist weder bei der Geburt ein fertiger Rechenmeister, noch muss sie das Rechnen erst lernen, sondern Anlage und Uebung müssen vom Anfange bis zum Ende der Sinnesthätigkeit zusammenwirken, aber beide sind einer Entwickelung fähig, welche erst in dem erreichten Ideal der Individualität ihre Grenze findet. Hätte z. B. die Hand nicht fünf Finger, sondern wäre sie ein Stumpf, so könnte sie nicht greifen. Bei der gegebenen Einrichtung aber muss sich schon dem Neugebornen, da er bei der ersten Bewegung der Hand einen Körper zufällig mit den Fingern tastet, die Körperlichkeit desselben als Eigenschaft, der Raumbegriff unmittelbar aus den Hindernissen ergeben, welche eben diese Körperlichkeit der Muskelwirkung und dem Tastgefühl entgegenstellt. Der Neugeborne mag und kann sich vorerst mit diesem einfachsten geometrischen Resultate begnügen und erst durch Uebung wird allmälig das Urtheil über die Qualitäten der gegriffenen Körper exacter, emancipirt sich so zu sagen jeder einzelne Finger immer mehr als geometrisches Organ. Wie weit die geometrische Leistung der Hand ausgebildet werden kann, lehren Klaviervirtuosen, und in Blindeninstituten kann man sich überzeugen, dass zu dieser Ausbildung nicht einmal die Unterstützung des Sehsinnes nöthig ist. — Aber wie selten wird überhaupt diese so wie jede andere Fähigkeit bis an ihre äusserste Grenze ausgebildet und ausgenützt, denn für das gewöhnliche Bedürfniss genügt eine ganz oberflächliche Verwendung derselben. Wir essen den Apfel ohne ihn nach allen Dimensionen auszumessen; es genügt, ihn

aus Umriss und Farbe als solchen erkannt zu haben, worauf der Geschmackssinn angeregt wird, und der geometrische dagegen in den Hintergrund tritt. So ist es überall im Leben der Organe wie der Individuen. Die Thiere kommen in der Ausnützung ihrer Fähigkeiten dem Ideale ihrer Individualität meist nach kurzer Entwickelungzeit sehr nahe. Aber gerade der Mensch erreicht es nur in den seltensten Fällen annähernd nach langjähriger Entwickelung; unter Millionen Menschen gelangen immer nur Einzelne und auch diese nicht im vollsten Maase zu jener Ausbildung, zu jener hohen Stufe der physischen und geistigen Cultur, deren die Menschheit fähig ist. Der Rest geht mit meist sehr mangelhaft ausgenütztem Talente zu Grabe. Die Natur ist eben in der Anlage ihrer Blüthen verschwenderisch, aber in der Reifung ihrer Früchte karg. — Darüber jedoch kann kein Zweifel sein, dass der erste und elementarste Calcul des Lebendigen über die Qualitäten der Dinge auf den dem Organischen immanenten, ursprünglich gegebenen Anschauungsformen der Zeit und des Raumes ruhen müsse. Wäre dies nicht der Fall, so gäbe es gar keine lebendige Individualität, denn es ist der Begriff derselben, dass sie sich als solche räumlich und zeitlich begrenzt fühlt, das heisst sich als Subject der objectiven Unendlichkeit gegenübersetzt. Dies Grundgesetz muss sich in allen Details der Manifestation des Lebendigen geltend machen. Die unendliche Variabilität jener Manifestationen, welche im Leben jeder einzelnen organischen Zelle ebenso wie des zusammengesetzten Thieres zur Erscheinung kommen, zu erforschen, ist Aufgabe der Naturwissenschaft. Es wäre jedoch geradezu absurd, irgend Etwas ausserhalb jener Grundbedingungen des durch das Endliche in die Erscheinung kommenden Unendlichen postuliren zu wollen, denn die Welt, das Geschehen ist ja, allgemein ausgedrückt, nichts Anderes als die Differenzirung, das Endlichsetzen, die Darstellung, die Entwickelung des Unendlichen in Raum und Zeit.

Wenn wir die Leistungen des Sehorganes näher

betrachten, so ergibt sich, dass dasselbe ein Zeit- und Raumsinn zugleich in höherer Bedeutung und Wirkung als alle übrigen Sinnesorgane ist. Mit Rücksicht auf die Erkenntniss der *Zeitintervalle* vermag das Auge 432 bis zu 785 Billionen Schwingungen von bestimmter Wellenlänge und Schwingungsdauer (roth bis violett) in der Secunde zu fassen, während das Ohr blos für 32 bis 73.000 Schwingungen distinctionsfähig ist. Es fordert dies selbstverständlich eine bestimmte Ziffer der Schwingungsfähigkeit, d. h. specifische Erregbarkeit der Nervenelemente des Sehnerven. — Für das *Flächensehen* bedarf es zweier Coordinatenaxen im Auge, und in der That sind diese als nahezu orthogonale Coordinaten in den Trennungslinien der Netzhäute (der horizontalen und senkrechten) gegeben. Der Anfangspunkt der Coordinaten ist die Stelle des directen Sehens. Die Quantität der erregten sensitiven Einheiten der Netzhaut, bezogen auf die Coordinatenaxen, gibt nach mathematischen Gesetzen den Begriff der Fläche, und man kann also sagen, dass, da dem Auge der Flächenbegriff thatsächlich innewohnt, die Netzhaut jene Coordinateneinrichtung nothwendig besitzen müsse. Die *Tiefenwahrnehmung* endlich resultirt aus der Doppelung des Sehorganes, wodurch eine Beziehung der beiden von verschiedenen Standpunkten gewonnenen Retinalbilder auf einander möglichst ist. Ferner ergibt sie sich daraus, dass bei der Convergenz der Sehaxen die orthogonalen Coordinatensysteme der beiden Netzhäute im Mittelpunkte zusammenfallen, aber daselbst um eine der Axen und einen bestimmten Winkel gegen einander gedreht werden können, woraus sich von selbst *eine dritte schiefwinklige Tiefenaxe* ergibt. Der Winkel der Drehung ist die Parallaxe, aus diesem Winkel und den drei Coordinatenaxen berechnet sich leicht die Körperlichkeit, die Tiefe, indem jeder Punkt im Raume, auf drei Coordinatenaxen bezogen, bestimmt werden kann.

Es genügt also für die Auffassung des Sehactes als Raumsinn vollkommen, dass die sensitiven Einheiten in der musivischen Schichte der Netzhaut als in das Sehorgan

eingebettete Localzeichen oder Tastorgane aufzufassen, welche durch Bewegung des Auges in der Richtung der Blicklinie mit dem Lichte der Aussenwelt in Contact kommen, woraus sich jene Erregungsfactoren ergeben, welche für den Calcul nothwendig sind.

Es ist sogar für den bezeichneten Zweck einerlei, ob wir dieses Verhältniss als solches festhalten, oder ob wir durch Umkehrung desselben, durch Herstellung eines reciproken Verhältnisses die Netzhaut und ihre Tastorgane nach aussen an die Spitze der Blicklinie versetzen und sagen: Das Auge ist ähnlich wie die Hand, das Greiforgan, ein Tast- und Messorgan der Körperwelt, welches mittelst eines arthrodisch beweglichen, zur Verkürzung und Verlängerung eingerichteten Hebels (der Blicklinie) in die Aussenwelt hinausgreift, und so die Eigenschaften der Körperwelt zu berechnen, beurtheilen, zu erkennen vermag.

Im Grunde vermögen wir auch nur dann von einem vollkommenen Sehacte zu sprechen, wenn wir das Verhältniss der Verkleinerung unseres Retinalbildes durch Umkehrung aufheben. Die Verkleinerung des Objectes im Retinalbilde ist nämlich lediglich eine Versinnlichung, ein Factor im Calcul, aus welchem erst durch Umkehrung das reale Verhältniss hergestellt werden kann.

In diesem Sinne, aber auch in keinem anderen, lässt sich von einer Projection nach aussen sprechen. Wir projiciren nicht nach aussen, sondern wir beurtheilen, berechnen blos aus dem doppelarmigen Hebel (zusammengesetzt aus dem Werthe der Blicklinie und jenem des Abstandes des Knotenpunktes von der Netzhaut), ferner aus der Grösse des Retinalbildes die Grösse des Objectes. Ebenso, wie wir, wenn wir mit den Fingern tasten, nicht einen Eindruck projiciren, sondern lediglich den Contact des Objectes mit unserem Nervensysteme herstellen, so stellen wir durch Bewegung des Auges die Möglichkeit her, dass sich die Aussenwelt in unsere Netz-

haut einlebe, womit die sämmtlichen Factoren für eine richtige Berechnung der Entfernung und Grösse des Objectes sich ergeben. Aber insofern sich die Aussenwelt auf der Netzhaut nicht real darstellt, sondern sich umgekehrt und reducirt *im Bilde* projicirt, ist es sogar durchaus nothwendig, dies Verhältniss durch Umkehrung aufzuheben, um zu einem richtigen Resultate zu gelangen. Ganz ebenso versinnlicht die Bewegung des Schattens an der Sonnenuhr und die scheinbare Bewegung der Sonne, die wirkliche Bewegung der Erde. Tausendfach beruht unser Urtheil auf ähnlichen reciproken Verhältnissen, und unsere Sprache z. B. ist voll solcher Widersprüche, deren wir uns nur selten sofort klar bewusst werden.

Wenn wir in der Netzhaut eine Reihe gesonderter sensitiver Einheiten, sogenannte Sinnes- oder Localzeichen voraussetzen, wie sie durch die Flächenausbreitung der Retinalbilder für das Flächensehen postulirt werden und auch thatsächlich vorhanden sind, so ist es für uns von keinem Interesse, in die Frage einzugehen, ob die gleichzeitig erregten nervösen Elemente ihre Erregungen „als solche" zum Centralorgane leiten, oder ob sie blos die zwingende Veranlassung sind, dass daselbst correspondirende Zustände geweckt werden, welche, wie man sagt, seelisch, einfach, raumlos, rein intensiv sind. Jedenfalls gelangen jene Erregungszustände nur insofern zum Bewusstsein, als sie geordnet, zurechtgelegt, gerechnet werden, und die Bedingungen dieser Ordnung sind bereits im Sinnesorgane selbst erfüllt. Vielleicht hat das Centralorgan lediglich die Aufgabe, die Verbindung der verschiedenen peripheren Sinnen-Erregungszustände untereinander zu einem Ganzen herzustellen, das Resultat des einen Sinnesorganes durch jenes eines zweiten gleichsam zu controliren und so die Idee der zusammengesetzten Individualität als Ganzes thatsächlich von einem Knotenorgane, von dem Centrum des Nervenlebens aus, zu vertreten. Wie dem auch sei, so ergibt sich schon daraus, dass die Abhängigkeit des Centralorganes von den ein-

zelnen Sinnesorganen keinesfalls unbedingt sei, wohl aber von allen zusammengenommen, und aus dem früher Erwähnten dürfte sich ergeben, dass „raumlose seelische Zustände“ sich mindestens jedem Calcul entziehen, und daher auch ausser dem Bereiche unserer Betrachtungen liegen.

II. Die Applicationsgesetze der monocularen Bewegung.

Bei der Einrichtung der Sinnesorgane begegnen wir überall bestimmten zu Grunde liegenden mathematischen Gesetzen. Jedoch müssen allenthalben Grundgesetze und Applicationsgesetze unterschieden werden. So liegt z. B. jeder Arthrode das Gesetz der nach allen Dimensionen des Raumes um drei orthogonale Hauptaxen drehbaren Kugel zu Grunde. Aber die anatomische Einrichtung der arthrodischen Organe ist meist von der Art, dass dieses Gesetz nicht im ganzen Umfange strenge durchgeführt werden kann, sondern nur annäherungsweise erreicht wird. Wir können jene Gesetze, welche sich aus der mit Rücksicht auf den anatomischen Bau nöthig gewordenen Aenderung in der Durchführung der Grundgesetze ergeben, die *Applicationsgesetze* nennen. So entsprechen die Insertionen der Augenmuskeln und deren Lagerungsverhältnisse den Grundgesetzen der Arthrode nür in angenäherter Weise. Die senkrechte Axe des Auges ist allerdings festgehalten, aber die horizontale weicht um 20°, die Tiefenaxe um 35° ab. Daraus resultiren für die Einzelwirkung der Augenmuskeln Applicationsgesetze, welche zum Theile vom Grundgesetze sehr erheblich differiren. Aber die Natur gewinnt, indem sie bei der Construction der Organe oft auf einen Vortheil verzichtet, eine Reihe anderer. Sie beschränkt sich selbst an einem Orte in der Durchführung eines Grundgesetzes, um mit einfachen Mitteln im engen Raume mehrere derselben zugleich mindestens annähernd zu

realisiren. Dabei gelingt es ihr meist, die an einem Orte nöthig gewordene Beschränkung an einem anderen wieder auszugleichen. So konnte sie darauf verzichten, die arthrodische Bewegung des Auges vollständig auszunützen, denn diese Beschränkung kann ja durch die arthrodische Drehung des Kopfes im Halsgelenke, noch mehr durch die ermöglichte Drehung des ganzen Körpers ausgeglichen und corrigirt werden. Damit wurde aber am Auge der wesentliche Vortheil erreicht, dass dasselbe durch Nase, Orbita und Lider geschützt ist, dass der Sehnerv auf dem nahezu kürzesten Wege vom Gehirn zum Augapfel gelangte, dass die Bindehaut nahezu gespannt erhalten wird u. v. A. Auch konnte nunmehr namentlich darauf verzichtet werden, die Einzelwirkung der Augenmuskeln auszunützen. Denn die Bewegungen des Auges werden nur dann sicher, leicht und aus allen Stellungen nach allen Richtungen erfolgen, wenn jede Innervation eines Muskels sofort jene aller übrigen wachruft, so dass jede Bewegung nach einer Richtung durch alle Muskeln gefördert, und auch die minimste Irrung des einen durch die Steuerung der anderen corrigirt werden kann. Diess führt zur Betrachtung der Gesetze der monocularen Bewegung.

Aus Versuchen mit dem (von mir zuerst construirten) arthrodischen automatischen Auge, dessen Muskelinsertionen auf Grundlage der von Ruete hiefür bestimmten und allgemein angenommenen Coordinaten gewählt wurden, ergibt sich, dass sowohl bei der Drehung als Rollung des Auges niemals ein Muskel für sich verkürzt und sein Antagonist verlängert sein kann. Ueberhaupt können als Antagonisten im strengeren Sinne lediglich zwei Muskeln, der externus und internus aufgefasst werden. Aber auch diese wirken bei der Drehung nach aussen und innen niemals für sich zusammen. Bei der Aussenbewegung in der Bahn des externus ist dieser Muskel höchstens als Führungsmuskel anzusehen; immer wird diese Bewegung auch mit durch Verkürzung der beiden obliqui gefördert. Dabei steuern diese Muskeln ebenso wie der rectus superior und inferior, welche letzteren beide in Gemeinschaft

mit dem Rectus internus durch active Verlängerung die Aussenwendung gestatten. Bei jeder geraden Aussenwendung wirken also drei Abductoren als Ganzes, und stehen ihnen drei Adductoren als Antagonisten entgegen. Der Externus ist Führungsmuskel, der Internus Antagonist, und die Bewegung hat vier Steuerer, von denen zwei (die obliqui) die Contraction des Externus, zwei (superior und inferior) die active Entspannung des Internus reguliren.

Dasselbe in umgekehrter Ordnung findet bei der geraden Innenbewegung statt. Hier ist der Internus Führungsmuskel, der Externus Antagonist, zwei Steuerer (superior und inferior) reguliren und fördern die Contraction des Internus, zwei (die obliqui) die Entspannung des Externus.

Bei der reinen Hebung und Senkung gibt es keine Führung durch einen einzelnen Muskel mehr, sondern diese Bewegung geht als Mittelkraft stets aus zwei Seitenkräften hervor. Die Hebung resultirt aus der gleichzeitigen Spannung des Superior und Obliquus inferior, welchen beiden der Inferior und Obliquus superior als Antagonisten entgegenwirken, wobei der Rectus internus und externus steuern. Dasselbe in umgekehrter Ordnung findet bei der Senkung statt.

Während also bei der reinen Seitenwendung drei Muskeln führen, zugleich vier steuern, scheint es, dass bei der reinen Hebung und Senkung blos zwei Kräfte führen, und zwei steuern. Da aber bei der letzteren Art von Bewegung im Grunde die beiden Seitenkräfte wechselseitig als Steuerer anzusehen sind, so ist auch hier für die Steuerung ebenso wie bei der Seitenwendung offenbar durch vier, ja, mit Rücksicht auf die beiden antagonistischen Seitenkräfte, sogar durch sechs Steuerkräfte vorgesorgt. Daher kann auch diese Art der Bewegung stets harmonisch vor sich gehen.

Die Innervation muss sich also in allen Fällen der Bewegung den sämmtlichen sechs Muskeln zuwenden, es ist bei gar keiner Art von Bewegung irgend ein Muskel

in Ruhe, immer ist eine ganze Gruppe derselben dahin thätig, die Bewegung direct zu führen, und die Gruppe der übrigen wirkt dahin, die Bewegung nach der intendirten Richtung zu reguliren, zu steuern. Nur beide Kräftegruppen, also alle sechs Muskeln zusammengenommen können das Ziel vollständig erreichen. Wenn man dazu erwägt, dass mit Ausnahme des Obliquus superior alle Muskeln bandartig sind, und ihnen in gewissem Sinne ähnlich wie breiten Muskeln das Vermögen der Selbststeuerung innewohnt, so ist offenbar allen Anforderungen dadurch entsprochen, dass in jedem Momente jedem Muskel sowohl das Geschäft der Führung als der Steuerung zum Theile übertragen, und so die Bewegung des Auges ununterbrochen regulirt werden kann. Wir können daher sagen, dass die sämmtlichen Muskeln zusammengenommen das Auge gleichwie ein einziger *trichter-* oder *becherförmiger Hohlmuskel* umfassen, welcher stets als Ganzes innervirt wird, und das Ziel der Bewegung in der gefordeten Richtung bald durch Verkürzung bald durch Verlängerung seiner motorischen Elemente zu erreichen vermag.

Dies wird ganz besonders ersichtlich bei den Bewegungen des Auges in schräger Richtung sowie bei den Rollbewegungen.

Bei den Schrägebewegungen kann selbst in jenen Fällen, wo die Bewegung in der Bahn eines Muskels fortschreitet, diese Bewegung niemals geradlinige Führungsbewegung um feste Halbaxen sein, denn jeder der beiden Obliqui, so wie der Superior und Inferior, müssten wenn sie eine Einzelwirkung hätten, die Gesichtslinie in krummen Bahnen bewegen, und zwar der Superior nach oben innen, der Inferior nach unten innen, der Obliquus inferior nach oben aussen, der Obliquus superior nach unten aussen.

Es müsste daher immer eine viel erheblichere Rollung um die Gesichtslinie erfolgen, als thatsächlich stattfindet, woraus von selbst folgt, dass die Führung des Auges in schräger Richtung durch einen einzigen Muskel

niemals vorkommen kann. Es müssen hier vielmehr stets, wie auch das automatische Auge lehrt, noch mehr als bei der reinen Hebung, Senkung und Lateralbewegung alle sechs Muskeln theils als führende Seitenkräfte, theils als Steuerer, aber mit sehr ungleicher Vertheilung der Anspruchnahme auf die einzelnen Muskeln wirken.

Soll z. B. die Gesichtslinie nach aussen oben um 45° über den Horizont schräg und geradlinig aufsteigen, so resultirt diese Bewegung als Mittelkraft aus drei paarigen aber sehr ungleich wirkenden Seitenkräften, deren Beziehungen auf einander in jedem Punkte der Bewegungsbahn wechseln müssen, damit die Bewegungsaxe constant bleibe. Von einer Führungsbewegung kann also hier ebenso wenig die Rede sein als von einer resultirenden aus einem in zwei gleiche Theile „zerspaltenen" Doppelmuskel, sondern immer muss der ganze motorische Apparat durch eine Bewegung, welche der wurmförmigen flacher Muskeln sehr nahe steht, als Ganzes innervirt, eingreifen. Für die Rollbewegung ergibt sich daraus, dass, da bloss zwei Muskeln (externus und internus) als reine Retractionskräfte, die übrigen immer als Zug- und Rollkräfte zugleich anzusehen sind, da ferner bei keiner Art von Bewegung lediglich Retractionskräfte ins Spiel kommen: daher auch keine Drehung des Auges nach irgend welcher Richtung implicirte Rollbewegungen absolut ausschliessen könne. Rollbewegungen müssen jedoch, da jeder Muskel im Beginne seiner Wirkung retractiv ist und die Rollkraft erst auf einer Strecke seiner Bahn entwickelt, ganz vorzüglich eine Function des Drehungswinkels sein. Da ferner bei der Hebung und Senkung mehr als bei der Lateralbewegung Rollkräfte dominiren, da endlich namentlich bei Bewegungen in schräger Richtung eine sehr ungleiche Belastung der paarigen Muskelkräfte stattfindet, so ist anzunehmen, dass ganz vorzüglich Hebungen und Senkungen des Auges in schräger Richtung Rollbewegungen impliciren müssen, welche ihren Ausdruck in der Neigung der Meridiane der Netzhaut finden.

Für die Bewegungsgesetze des einzelnen Auges dürfte sich daher aus dem Angeführten Folgendes ergeben:

Die Bewegungen des Auges zerfallen in primäre und secundäre. Die primäre geht entweder von der Primarstellung in eine secundare, oder aus einer secundaren in die primare Stellung zurück. Die secundäre Bewegung dagegen führt aus einer secundaren Stellung in eine andere, geht also weder von der Primarstellung aus, noch führt sie zu derselben zurück.

Die Primarstellung allein ist die Ruhestellung des Auges, wobei die sämmtlichen Muskeln entspannt sind, wie im Schlafe und Tode. (Jedoch ist damit ein relatives Verharren des Auges in der Primarstellung, eine active Primarstellung mit gleichzeitiger activer, nicht blos elastischer Spannung der Muskeln nicht ausgeschlossen). Secundarstellungen impliciren in allen Fällen die Spannung sämmtlicher Muskeln.

Die Bewegung ist entweder Drehung oder Rollung, oder beides zugleich. Es gibt keine Einzelwirkung der Augenmuskeln, sondern jede Spannung eines Muskels implicirt sofort jene der sämmtlichen übrigen; die Folge davon ist ein actives Balancement des Auges.

Muskeln, deren Hauptebenen zusammenfallen, sind wahre Antagonisten, indem das Drehbestreben um dieselbe Axe des einen durch jenes des anderen aufgehoben wird. Am Auge sind jedoch blos der Rectus externus und internus wahre Antagonisten, und auch diese bleiben es nur für den Fall des Drehbestrebens in horizontaler Richtung. Wenn das Auge aus der Primarstellung nach oben oder unten gedreht wird, heben sich die Drehungsmomente dieser beiden Muskeln nicht mehr vollständig auf, und jeder derselben implicirt daher nebst der Drehung eine Rollung. Die übrigen vier Muskeln können mit Rücksicht auf die Bewegung der Blicklinie niemals als wahre Antagonisten aufgefasst werden, sie haben sämmtlich unter allen Verhältnissen lediglich relative Antagoniste

sie sind ferner Zug- und Rollkräfte zugleich, wobei der relative Antagonist des Muskels zwar der Drehung um dieselbe Halbaxe relativ widersteht, aber die Rollkraft desselben nicht aufhebt, sondern vielmehr erheblich fördert. So ist der relative Antagonist des Obliquus interior für die Drehung der Blicklinie um eine feste Halbaxe nicht der Obliquus superior sondern der Rectus inferior, aber beide müssten dabei, wenn sie für sich wirkten, die Rollung, damit die Neigung des senkrechten Netzhautmeridians nach aussen fördern. Dasselbe gilt bezüglich des Rectus superior und Obliquus superior. Wenn also das Rollbestreben bei irgend welcher geradlinigen Bewegung mit Ausnahme der reinen Seitenwendung aus der Primarstellung heraus möglichst vermieden werden sollte, so wurde es absolut nöthig, dass die Bewegung nicht lediglich durch zwei relative Antagonisten geführt werde, sondern es müssen sofort die sämmtlichen übrigen Muskel als Steuerkräfte zum Dienste der vermiedenen Rollung eintreten. Aber auch bei der reinen Seitenwendung, der Bewegung der Blicklinie im grössten Kreise, müsste die minimste Störung in dem Gleichgewichte der vorhandenen Widerstände von Seite der beiden wahren Antagonisten (rectus externus und internus) eine Aenderung in den Halbaxen des Drehbestrebens hervorbringen, und war desshalb eine Vorsorge für die Steuerung durch die übrigen vier Seitenkräfte absolut nothwendig. Wären die Bewegungsaxen des Auges fest, und nicht imaginär, so hätte allerdings für den Angriffspunkt der Zugkräfte ein Spielraum zugestanden werden können. Die imaginären Axen des Auges können aber in jedem Momente nur dann festgehalten werden, wenn auch in jedem Momente der Bewegung Zug- und Steuerkräfte zusammenwirken.

Zur Herstellung des Drehungsmomentes als Resultirenden nach dem Parallelogramm der Kräfte und nach dem Listing'schen Gesetze genügt also niemals die gleichzeitige Innervation zweier Muskeln, oder die Herstellung zweier Seitenkräfte, sondern es müssen die Steuerkräfte mit in Rechnung kommen, d. h. jede Bewegung, welche

es auch sei, implicirt die Innervation sämmtlicher sechs Augenmuskeln.

Man kann die Bewegung des Auges allerdings mit Rücksicht auf die relative Ansprucbnahme der Muskeln in die doppelte Art der Führungsbewegung und resultirenden Bewegung unterscheiden.

Jede Bewegung der Gesichtslinie aus der Primarstellung in der Richtung der Bahn eines bestimmten Muskels heisst Führungbewegung, weil dieselbe zum grossen Theile aber niemals allein und selbstverständlich nur bei Besiegung der vorhandenen Widerstände durch Verkürzung dieses Muskels in seiner Bahn geführt werden kann.

Da es sechs Augenmuskeln gibt, kann auch die Führungsbewegung sechsfach sein.

Die Führungsbewegung kann entsprechend den Bahnen der sechs Muskeln gerad- oder krummlinig sein. Nur der Rectus externus und internus gestatten eine geradlinige Führungsbewegung. Jene der übrigen Muskeln folgt einer krummlinigen Bahn.

Die resultirende Bewegung erfolgt ausserhalb der sechs Muskelbahnen und fordert stets mindestens zwei dominirende, führende Muskeln, welchen als solchen sich die Innervationen stets wie einem einfachen Muskel, aber meist ungleich stark zuwendet.

Hiebei müssen auch stets mindestens zwei Steuerkräfte wirken, und innervirt werden.

Die meisten primaren (mit Ausschluss von sechs Arten), alle secundaren Bewegungen sind resultirende.

Die Rollbewegung fordert in allen Fällen gleichfalls die Ansprucbnahme sämmtlicher sechs Augenmuskeln. Jeder Augenmuskel kann unter Verhältnissen zur Rollkraft werden. Für sich betrachtet sind ganz vorzüglich die beiden Obliqui eminente Rollkräfte. Darauf folgen der Rectus superior und inferior, während der externus und internus lediglich aus Secundarstellungen heraus Rollkräfte zu entwickeln vermögen.

Da bei den Bewegungen nach allen Richtungen Rollkräfte im Spiele sind, und die Innervation sich den

Muskeln ungleich zuwenden kann, so schliesst die Drehung nach keiner Richtung implicirte Rollbewegungen aus.

Es kann jedoch gesagt werden, dass das Rollbestreben der Muskeln im Allgemeinen mit dem Seitenwendungs-, Erhebungs- und Senkungswinkel wachse. Ganz vorzüglich muss bei den Schrägebewegungen, weil hier stets eminente Rollmuskel dominiren, eine Rollung um die Blicklinie zu Stande kommen können. Dagegen wird bei der reinen Seitenwendung, wo Retractionskräfte dominiren, eine Rollung nicht so leicht vorkommen, und ebenso kann die Desorientirung der Netzhaut bei der reinen Hebung und Senkung, wo die Bewegung eine Resultirende aus zwei annähernd gleichen Seitenkräften ist, nicht so leicht eintreten.

Diese erwähnten, aus den Lagerungsverhältnissen der Muskeln des Auges sich ergebenden Applicationsgesetze können selbstverständlich noch innerhalb der physiologischen Thätigkeit vielfachen individuellen Schwankungen unterliegen, und es scheinen diese namentlich bei dem binocularen Sehacte manifest hervorzutreten. So ist z. B. das Listing'sche Gesetz für Stellungen und Bewegungen beim binocularen Nahesehen nicht völlig erfüllt, und diess mag in in der That seinen Erklärungsgrund nicht allein darin haben, dass individuelle Abweichungen in den Innervationen der Muskeln vorliegen, sondern auch darin, dass beim binocularen Nahesehen die Innervation sich bald den Adductoren, bald den Abductoren vielfach wechselnd zuwenden muss, und daher leichter Irrungen eintreten. Im Ganzen jedoch bestätigen Experimente mit Nachbildern die angeführten Gesetze der monocularen Bewegung, indem die Rollung des Auges im engeren Blickraum fast Null ist, und ebenso bei der Hebung und Senkung im senkrechten wie bei der Seitenwendung im horizontalen Meridian, vorausgesetzt, dass der Kopf feststeht, und die Gesichtslinie senkrecht auf die Ebene trifft, auf welcher das Nachbild projicirt wird.

III. Die Theorie der parallelen Blicklinien.

Das Motiv des Binocularsehens ist die Stereometrie der Körperwelt ohne Aenderung der Standpunkte des Kopfes. Wir können allerdings auch mit einem Auge allein stereometrisch sehen, aber genauer doch nicht wohl ohne Bewegung des Kopfes oder Körpers, also auf Umwegen und mit Zuhilfenahme zahlreicher Factoren. Das Binocularsehen erreicht aber jenes Ziel viel rascher, unmittelbarer, einfacher.

Die Stereometrie des Doppelauges beruht auf der Identität (Congruenz) zweier räumlich distanter Messpunkte und Messflächen, welche durch die im Mittel um 64^{mm} im Gesichte von einander abstehenden, gerade nach vorn gerichteten Augen und ihre Netzhäute gegeben sind.

Die Identität der Netzhäute ist dahin zu verstehen, dass, wenn man dieselben ganz so, wie sie im Ruhestande der Augen (bei Parallelstellung) gerichtet sind, übereinander legen würde, so dass die Blickpunkte, die Horizonte und verticalen Meridiane einander decken möchten, alle gleichweit vom Blickpunkte abliegenden Punkte Deckpunkte von identischer Empfindung wären.

Bei der gegebenen Distanz der Netzhäute von 64^{mm} kann eine identische Empfindung unter sehr wechselnde[n] Verhältnissen zu Stande kommen: 1. bei parallelen Blick[-]linien, wenn ein Object in sehr weiter Ferne steht, s[o] dass von demselben in beide Augen parallele Strahlen gelangen, 2. bei parallelen Blicklinien, wenn zwei völli[g] gleiche Objecte um 64^{mm} von einander in beliebiger Fer[ne] je in einer Blicklinie liegen, 3. bei aufgehobenem Parall

lismus der Blicklinien, wenn dieselben auf einem Objecte zur Durchkreuzung kommen, convergiren, 4. bei aufgehobenem Parallelismus der Blicklinien, wenn in denselben zwei völlig gleiche Objecte liegen.

Was von der Richtung der Blickpunkte gilt, gilt selbstverständlich allgemein auch von den übrigen identischen Punkten, und es ist die Forderung der Identitätslehre ferner für sich klar, dass die Deckung identischer Punkte durch unidentische Bilder nicht das Resultat der Verschmelzung, sondern lediglich jenes der Mischung haben könne, welches unter Umständen befriedigend für das Sehorgan ausfallen kann, in anderen Fällen den Widerspruch wachrufen muss.

Unsere beiden Augen werden in der Regel nur von parallelen und divergenten Lichtstrahlen getroffen und können darauf entweder ursprünglich eingerichtet sein oder eingerichtet werden. Es ergeben sich daraus mit Nothwendigkeit folgende Arten der Richtung der Blicklinien, welche binoculares Einfachsehen ermöglichen:

1. die binoculare Parallelstellung, Primar- oder Ruhestellung.

2. Die binoculare Parallelbewegung.

3. Die binoculare Convergenzbewegung, welche wieder in die symmetrische und asymmetrische zerfällt.

1. Die binoculare Ruhestellung, welche man auch die anatomische Stellung nennen könnte, fordert, dass die senkrechten Meridiane der Netzhäute und die bezüglichen Trennungslinien, so wie die zugehörigen Ebenen parallel zur Medianebene des Kopfes stehen, und dass die horizontalen Meridiane in eine Ebene, die Blickebene, fallen, welche senkrecht auf der ersten steht.

Wir sehen hiebei davon ab, dass viele, ja die meisten Augen, allerdings nicht völlig die geforderte Lage und den geforderten Bau haben. Die geometrische, optische und physiologische Axe und die zugehörigen Coordinaten sollen, theoretisch gedacht, im vollkommenen Auge identisch sein. Wenn dies nicht überall, ja sogar in der Minderzahl thatsächlich vollständig der Fall ist, so kommen

eben minime Anomalien aus dem Grunde nicht in Betrachtung, weil sie die Function des Auges, welches ja so wie der Bau des ganzen Körpers noch nach anderen Richtungen vom Ideal meist vielfach abweicht, nicht erheblich alteriren; excessive Abweichungen fallen dagegen wie allenthalben in das Gebiet der Pathologie. Die Experimentalphysiologen arbeiten ja in der Regel mit Anomalien, selbst mit pathologischen Zuständen!

Unsere beiden Augen vermögen nun in der Ruhelage unter doppelten Bedingungen einfach zu sehen: 1. wenn ein Object sich in so weiter Ferne befindet, dass von demselben parallele oder doch nahezu parallele Strahlen zu uns gelangen, 2. wenn zwei identische Objecte um 64mm von einander in beliebiger Entfernung je in einer Blicklinie liegen.

Befindet sich ein Object in so weiter Ferne, dass von demselben zu unseren beiden Augen parallele Strahlen gelangen, so ist der Werth des Abstandes beider Augen von einander (die Grundlinie) im Verhältniss der Entfernung des Objectes so verschwindend klein, dass sie in Eines zusammenfallend gedacht werden können, denn es ist dann der Cosinus des Neigungswinkels der Blicklinien gegen einander gleich Null, daher auch die Grundlinie verschwindet. Da die Tangente des Neigungswinkels in diesem Falle $= \infty$ wird, so ist der Radius der Projectionssphären der beiden Netzhäute gleichfalls $= \infty$ und der Werth der Centrale, d. i. ihres Centrumabstandes $= 0$. Also vereinigen sich die beiden Netzhautsphären zu einer einzigen, cyklopischen und der Flächenhoropter des Aquilonius ist thatsächlich gegeben. Zugleich ist, obgleich die Blicklinien im Kopfe ruhen, doch eine passive Bewegung derselben im Blickraume möglich, wenn der Kopf oder Körper sich bewegt, d. i wenn die arthrodische Bewegung des Auges durch andere äquivalente Arthroden ersetzt wird.

Die passive Bewegung der Augen, namentlich die Beziehungen der Augenarthrode zu ihrem Aequivalent, der Kopfarthrode, haben bisher noch wenig Beachtung

[illegible]

[illegible] dass — ganz [illegible] reiche die freien Entwicklung der [illegible] gekehrten Verhältnisse [illegible] Es scheint auch, dass jene Augen welche [illegible] ferner Objecte ganz vorzüglich angewiesen sind [illegible] das Vogelauge, bei beschränkter Augenarthrode [illegible] freie Halsarthrode erlangt haben. Bei Thieren [illegible] rasche Schwenkungen des Kopfes oder des ganzen Körpers leicht ausführen können, wie die Flugthiere und Schwimmer, war überhaupt eine freie Entwicklung der Augenarthrode nicht so nothwendig, als bei den mehr ruhig [illegible] lauernden Thieren.

Wie dem auch sei, so bringt beim Menschen die

passive Augenbewegung manche Vortheile. Denn das Bewegungscentrum des Kopfes fällt in die Mitte des Hinterhauptloches, und der Radius des Kopfes ist nahezu 9mal (genauer 8·33) grösser als jener des Auges. Es muss also bei gleichem Winkelwerthe der Bogen der Kopfdrehung 8·33mal grösser sein als jener des Auges, und in demselben Verhältnisse vermindert sich vielleicht auch die Muskelanstrengung. Thatsächlich ist es viel bequemer, beim Betrachten ferner Objecte den Kopf zu bewegen und die Augen ruhen zu lassen. Bei pathologischen Zuständen, namentlich bei Nystagmus treten sogar sehr auffällige vicarirende Kopfbewegungen hervor, wenn die Blicklinie möglichst fix eingestellt werden soll. Ueberhaupt sind Lateralbewegungen der Augen, sowie Hebungen und Senkungen stets von einer viel bedeutenderen entsprechenden Kopfbewegung unbewusst begleitet. Hiebei erfüllt die Augenarthrode eigentlich blos die Aufgabe, den Winkel der Kopfbewegung zu reguliren, die genauere, feinere Einstellung gleich einer Mikrometerschraube zu übernehmen. Der Winkel der regulirenden Einstellung des Auges ist auch in der Regel um ein beträchtliches kleiner als jener der Kopfbewegung, vorausgesetzt, dass der ganze Act noch innerhalb der dem freien seitlich ungestützten Kopfe gestatteten Bewegungsgrenzen vor sich ging.

Gewiss hat also das Eintreten der Kopfbewegung für den seitlichen Blick seinen Grund in der Zunahme der Incongruenz der Netzhautbilder mit Zunahme des Seitenwendungswinkels der Augen, ferner in der möglichst vermiedenen Zerrung des optischen Nerven und der übrigen Verbindungen, daher allgemein in dem Umstande, dass das Binocularsehen in die Ferne bei gerader Parallelstellung, und in die Nähe bei symmetrischer Convergenz der Blicklinien am einfachsten, d. h. ohne Aenderung des Werthes der Grundlinie zu Stande kommt.

Der oben erwähnte Fall, dass zwei identische Objecte je in einer der parallelen Blicklinien liegen und daher einfach gesehen werden, ist erst mit der Entdeckung

des Stereoskops geschaffen worden und kommt sonst nicht vor. Durch das Stereoskop ist man auch auf die nicht identischen Deckbilder identischer Netzhautstellen, auf die Doppelbilder überhaupt mehr aufmerksam geworden, und es ergab sich, dass solche Bilder, je nach der physischen und psychischen Disposition, vielfach wechselnde stereoskopische Resultate geben, jedenfalls aber ein wichtiger Factor bei dem Zustandekommen der Tiefenempfindung sind. Denn die Verschmelzungsbilder rufen stets blos den Begriff der Fläche hervor, und erst aus den Doppelbildern geht die Tiefenaxe des Doppelauges und damit der Begriff der Tiefe hervor. Man hat neuerlich auf Grund der wechselnden Erscheinungen des stereoskopischen Sehens die Identität der Netzhäute auf gewisse correspondirende Empfindungskreise einschränken wollen (Panum), ja man hat sogar die Identität gänzlich geleugnet. Dabei vergass man aber, dass, wenn der Sehsinn, wie doch zugegeben werden muss, das Vermögen der räumlichen Sonderung hat, derselbe mindestens nicht *gleichzeitig* räumlich sondern und räumlich verschmelzen könne. Die Frage über die kleinsten Masseinheiten der Netzhäute kann strittig sein. Aber die einzelnen Masseinheiten dürfen nicht ineinander greifen, wenn nicht confuse Mischungsbilder entstehen sollen. Entspräche z. B. einem Zapfen blos ein Panum'scher Empfindungskreis von 15 Zapfenbreite, so greifen offenbar in diesen Empfindungskreis gleichzeitig so viel Empfindungskreise ein, als dem Flächeninhalte eines Kreises von 15 Zapfen Durchmesser Einheiten entsprechen, das ist 176.714. Dies gäbe ein Confusionsbild der gesammten Netzhautfläche, indem ja, was von einem Zapfen gilt, von allen gelten muss! — Die Identität der Netzhäute lässt sich somit ganz entschieden auch apagogisch beweisen. Zwar können die „kleinen Irrungen", welchen das Auge beim stereoskopischen Sehen durch Nachbilder, durch Doppelbilder, durch fehlerhafte Innervationsgefühle der Augenmuskeln, durch Farbencontraste, durch die dominirende Macht der Contouren des Bildes, und endlich durch die

Voreingenommenheit des Beobachters ausgesetzt ist, widersprechende stereoskopische Resultate zur Folge haben, aber diese sind der Identitätslehre nicht aufs Kerbholz zu schreiben, sondern den zahlreichen Fehlerquellen der Beobachtung. So kommt z. B. schon bei der Verschmelzung zweier identischer, je in einer Blicklinie liegender, naher Objecte in jedem Auge ausserdem ein gekreuztes Doppelbild, die sogenannte Dreibilderfigur zu Stande, welche sofort das binoculare Verschmelzungsbild beirrend beeinflusst, wenn sie nicht durch eine Zwischenwand eliminirt wird; dasselbe gilt selbstverständlich bezüglich aller Doppelbilder, und muss ebenso auf deren Nachbilder Anwendung finden.

2. Binoculare Parallelbewegung. Die Coordination der beiden Augen ist im Grunde schon mit der anatomischen Parallellage derselben durchgeführt. Denn die gleichförmige Bewegung beider in gleicher Richtung bei gleicher Beziehung zum Sehraume ist doch offenbar nur dann möglich, wenn die Bewegung von einer ursprünglichen Parallelstellung ihren Ausschritt nimmt. Die Augenarthrode unterscheidet sich in dieser Beziehung bestimmt von der ihr sonst verwandten Arthrode der Greifer und Schreiter (Schulter- und Hüftgelenk), denn die Augen liegen so zu sagen ursprünglich im Kopfe in Reihe und Glied, unabhängig von jeder Lage und Richtung desselben, und jede ihrer Bewegungen geht daher stets von einer gleichen Stellung aus. Wie aber jede Bewegung der Controle des Nervensystems unterworfen ist, so gilt dies selbstverständlich auch von der coördinirten Parallelbewegung, und es frägt sich hiebei nur, ob die Verbindung der Bewegungen beider Augen lediglich eine gewohnheitsgemässe, auf Erziehung beruhende (Empirismus-Helmholtz) sei, oder ob sie auf angebornen Coordinationsgesetzen beruhe (Nativismus).

Ich habe diese Frage bereits oben principiell zu lösen versucht, indem ich nachgewiesen zu haben glaube, dass weder die Theorie des Nativismus noch Empirismus für sich begründet sei, indem Anlage und Uebung min-

destens beim Menschen sehr innig verknüpft sind. Vollkommen übereinstimmend sagt neuestens ein Anonymus (das Unbewusste vom Standpunkte der Physiologie etc. Berlin 1872 p. 117): „Was du ererbt von deinen Vätern hast, erwirb es, um es zu besitzen! Das Lernen des Kindes ist ein Erwerbungsprocess des Ererbten. Während das Thier niemals (?) zu der abstracten Vorstellung gelangt, diese oder jene Bewegung vollziehen zu wollen, sondern immer nur Bewegungen auf entsprechende Motive oder aus unmittelbarem Bewegungstrieb vornimmt, gelangt der Mensch dazu, die Ausführungsimpulse zu den Bewegungen der wichtigsten quergestreiften Muskeln unter Umständen auch von den unmittelbaren praktischen Motiven ablösen zu können, und mit der abstracten Vorstellung der Ausführung einer solchen Bewegung zu associiren. Diese Ablösung findet nicht unmittelbar statt, sondern allmälig, Schritt vor Schritt, durch Selbstbeobachtung der mit schwachen begleitenden Empfindungen ins Bewusstsein fallenden Impulse."

Also durch Uebung der ererbten Anlage werden Bewegungen entwickelt und angewöhnt. Wir können in der That durch Erziehung keine Anlage schaffen, lediglich die vorhandene entwickeln; aber ohne Uebung bleibt jede Anlage ungeweckt, und kann schliesslich erlöschen oder doch verkümmern. So kann demnach auch die Binocularbewegung gewisse Coordinationscentra haben, ja die Untersuchungen Adamük's, wonach der Sitz derselben in der Vierhügelgruppe zu suchen ist, machen dies sehr wahrscheinlich; aber dadurch wird eine allmälige Entwickelung namentlich jener Bewegungsarten nicht ausgeschlossen, welche an sich nur durch einen Calcul, gleichgiltig ob des sogenannten Empfindungs- oder Hirncentrums ausgelöst werden. Dies gilt ebenso von der Parallelbewegung wie von der convergenten. Beide sind, unbeschadet die Coordinationscentra, das Resultat einer längeren Erziehung des Auges.

Das neugeborene Kind vermag, wie oben erwähnt, bereits in der Ruhelage der Augen ferne Objecte bino-

cular einfach zu sehen. Unter diesen Verhältnissen werden beide Netzhäute in ihrer ganzen Fläche von identischen Bildern erregt, jedoch werden nach der Einrichtung dieser Membranen lediglich die Bilder der Blickpunkte vollkommen scharf und deutlich empfunden, alle seitlich vom Blickpunkte gelegenen dagegen im Verhältnisse der seitlichen Entfernung minder deutlich. Soll eines der seitlichen Bilder, welches die Aufmerksamkeit erregt, scharf gesehen werden, fixirt werden, so müssten die beiden Netzhautgruben eben nach diesem seitlichen Bilde verschoben werden, und zwar müsste die Verschiebung nach gleicher Richtung um denselben Winkel stattfinden — Parallelbewegung. Die Anregung zu solcher Verschiebung gibt offenbar die Ablenkung der Intention vom Centrum nach der Peripherie durch Farben oder Contoureneindrücke der Bilder. Wenn wir am Sternenhimmel einen Stern 3. Grösse fixiren, und es befindet sich nebenan einer 1. Grösse, so wird durch dessen Glanz die Intention dahin abgelenkt, und der Versuch der Fixation des seitlich gelegenen Sternes tritt ein. Das Auge findet sofort bei diesem Versuche, dass, wenn das Bild des Sternes noch weiter vom Blickpunkte weg verschoben wird, dasselbe immer undeutlicher werde, dagegen gewinnt es an Deutlichkeit, wenn der Blickpunkt demselben genähert wird. Im Blickpunkte erreicht schliesslich die Schärfe des Bildes ihr Maximum, daher sich der Versuch hier fixirt d. h. die Fixation tritt ein. Das Resultat kam durch binoculare Parallelbewegung zu Stande, und die Bewegung wurde durch die immanente Einrichtung der Netzhaut, durch deren Localzeichen dominirt, welche demnach als der eigentliche Beherrscher auch der Coordinationsbewegung der beiden Augen auftrat. Wesentlich mit musste bei dem Zustandekommen der Bewegung der Kopf feststehen, die passive Bewegung der Augen musste ausgeschlossen sein, wenn die Thätigkeit der Augenarthrode angeregt werden sollte. Wir sehen daher in der excludirten passiven Bewegung des Auges ein neues wichtiges Moment der Entwickelung seiner Eigenbewegung hervor-

treten, ein Moment der Erziehung des Auges, welches bisher gänzlich übersehen worden ist.

Vergessen wir hiebei nicht, dass die Parallelbewegung zwar immer befriedigende Verschmelzungsbilder ferner Objecte liefert, dass aber diese Bilder doch immer nur ein Raumsehen niederer Ordnung bedeuten, indem sie lediglich Flächenbilder sind, und dass von da aus das Auge noch einen weiteren Schritt in der Entwickelung seiner Functionen machen muss, nämlich zur Convergenzbewegung, deren Resultat das Tiefensehen ist. Aber schon die Parallelbewegung kam nur auf Grund des Experimentes, unter Controle des psychischen Calculs, der Flächenrechnung zu Stande, und sie kann auch durch die ganze Lebenszeit nur durch die Fortdauer dieses Calculs intact erhalten bleiben. Freilich wäre die in Folge dieses Calculs eingeleitete Bewegung ohne einer bestimmten Hirndisposition kaum möglich, und man kann daher sagen, dass diese nicht mehr bedeute, als wenn die Nativisten gewisse immanente Coordinationscentra annehmen, welche die Bewegungen des Auges beeinflussen. Aber es involvirt unsere Auffassung der Sache denn doch einen ganz wesentlichen Unterschied.

Denn wenn auch der Einfluss des Gehirns auf die Augenbewegung feststeht, so kann doch darüber kein Zweifel sein, dass dasselbe beim Menschen nicht, wie die strengen Nativisten bisher anzunehmen scheinen, fertig aus der Mutter Schoos hervorgeht, sondern als eine sehr unvollkommene, unfertige Nervenmasse, deren Entwickelung in den neun Monaten des Fötuslebens lange nicht vollendet wurde, ja welche durch die ganze Zeit der fortschreitenden Körperentwickelung, und nicht blos in der Kindheit, fortdauert. Die Entwickelungslehre tritt eben auch auf diesem Gebiete die Erbschaft des Nativismus und Empirismus an, denn nur im Kampfe ums Dasein, in der Erziehung und Fortentwickelung reift die ererbte Anlage. So wie die organischen Formen der fortwährenden Mauserung dem Stoffwechsel unterliegen, so bedeuten auch die physiologischen Functionen nur die Continuität

eines an Intensität und Ausdehnung der Leistung allmälig reifenden Processes, denn es gibt im organischen Leben nirgend eine Versteinerung, Mumification und Stabilität, und zwar weder im Leben der Formen noch der Functionen.

Die Parallelbewegung resultirt, wie oben gezeigt wurde, mit einem gewissen Zwange aus der anatomischen Einrichtung des Doppelauges, aus den Localzeichen der Netzhaut, wonach gleichseitige Bilder (Erregungszustände) behufs ihrer deutlichsten Fixation die gleichseitige Bewegung der Blickpunkte auslösen, also rechts vom Blickpunkte gelegene Bilder beiderseitige Rechtswendung, links gelegene Linkswendung, obere Hebung, untere Senkung des Blickpunktes, was selbstverständlich eine Bewegung der Blicklinie in umgekehrter Ordnung bedeutet. Wir können somit die Parallelbewegung zunächst aus den factischen Beziehungen der Parallelstellung zu dem bei ruhender Accommodation auf der Netzhaut projicirten Flächenbilde ferner Objecte, das ist zu den in paralleler Richtung an das Auge gelangenden Lichtstrahlen ableiten und sagen:

Die Parallelbewegung der Augen ist ein Applicationsgesetz der Einrichtung des Auges für parallele Lichtstrahlen, d. i. für die unendliche Ferne. Hier sei sofort bemerkt, dass nebst parallelem Lichte gewöhnlich nur noch Divergentes von endlichen Objecten zu unserem Auge gelangt, für welches ein zweites Applicationsgesetz, jenes der Convergenzbewegung als Folge der Einrichtung der Augen für die Fixation endlicher Objecte gilt. Aber da wir lediglich die Realität der Endlichkeit und Unendlichkeit zu erfassen im Stande sind, nicht aber die Ueberunendlichkeit, und es in der Natur auch in der Regel keine convergente Lichtstrahlen gibt, sondern diese nur durch ungewöhnliche Brechung paralleler oder divergenter Strahlen zu Stande kommen, so wäre auch die Einrichtung unseres Auges für convergentes Licht und ein daraus resultirendes Applicationsgesetz ein Widerspruch gegen die gewöhnlichen Formen der Fort-

pflanzung des Lichtes, und wenn daher eine solche anatomische Einrichtung oder betreffende Applicationen der Bewegung vorkommen, so gehören sie strenge in das Gebiet der Pathologie. So ist Hyperopie ein krankhafter Zustand, und ebenso die Divergenzbewegung der Blicklinien. Namentlich die letztere kann aber bei fehlerhafter Uebung der Augenbewegung, z. B. mit Zuhilfenahme von Prismen, bis zu einem gewissen Grade erlernt werden und dann auch habituell werden. Die Pathologie liefert hiefür unzählige Belege, und es darf uns daher auch nicht wundern, wenn Helmholtz (phys. Opt. p. 475) eine Divergenz der Blicklinien bis zu 8 Grad hervorzubringen, ja wenn er und Donders auch eine verschiedene Hebung beider Augen zu erzielen vermögen, da ja doch verschiedene Hebung der Augen gleichbedeutend mit Divergenz der Blicklinien ist, indem die eine die Negation des Parallelismus, die andere jene des Zusammenfallens correspondirender Meridiane bedeutet.

Helmholtz hat aus der Thatsache, dass Divergenzbewegung sowie differente Hebung der Augen bis zu einem gewissen Grade erlernt werden kann, den Schluss gezogen, dass die Verbindung, welche zwischen den Bewegungen beider Augen besteht, nicht durch einen anatomischen Mechanismus erzwungen, sondern lediglich durch den Einfluss des Willens veränderlich sein könne, insofern dieser auf den Zweck, einfach und deutlich zu sehen, gerichtet ist. — Dagegen lässt sich einwenden, dass ja der „Wille“ denn doch eben die Möglichkeit, den Zweck des Einfachsehens und Deutlichsehens nur durch anatomische Einrichtungen des Auges erreichen könne und dass er in die Grenzen dieser gebannt ist. Der Zwang, oder besser gesagt, das Gesetz des Deutlichsehens ebenso wie jenes der vermiedenen Diplopie hat in einer bestimmten ererbten Anordnung der sensitiven Elemente der Netzhaut seinen Grund. Denn jedes Auge für sich und beide zusammen können nur mit der Netzhautgrube deutlich sehen und ebenso ist das Gesetz des binocularen Einfachsehens erfüllt (Doppelsehen vermieden), wenn die Bilder auf iden-

tische, sagen wir vor der Hand blos, auf die beiden Blickpunkte der Netzhautgruben fallen. Dass wir aber eben nur mit jeder Netzhautgrube deutlich, dass wir mit beiden ein Object einfach sehen, beruht doch wohl auf einem anatomischen Mechanismus, was hoffentlich kein Empirist läugnen wird. Dieser Mechanismus muss den eigentlichen Anstoss zu den gleichförmigen Bewegungen der Augen geben, wenngleich dieselben erst durch die fortdauernde reflectorische Wirkung der, unbewussten oder bewussten, Willensimpulse auf den motorischen Apparat regulirt und habituell werden, wobei selbstverständlich pathologische Abweichungen, welche ihren Grund in der Netzhaut dem Gehirn und den Muskeln haben können, nicht ausgeschlossen sind. Helmholtz geht also der empiristischen Theorie zu Liebe denn doch zu weit, indem er der anatomischen Einrichtung gar Nichts zugesteht und Alles der Freiheit des Willens.

Wir können dagegen sagen: Das Coordinationscentrum der beiden Augen ist eigentlich und wesentlich in den Netzhautgruben zu suchen; sie sind, um es bildlich auszudrücken, der Magnet, nach welchem alle seitlichen Bilder hinziehen, und somit die Impulse erregen, unter deren Einfluss wieder der motorische Apparat steht. Wenn wir nun anatomisch gegebene Coordinationscentra in den Netzhäuten haben und zugeben müssen, so ist kein Grund vorhanden, abzuläugnen, dass auch noch ein weiteres Centrum für den motorischen Factor im Gehirne vorhanden sei, wobei aber nicht übersehen werden darf, dass die Leistung des motorischen Factors beziehungsweise des cerebralen Centrums nur durch Empirie, durch Uebung fehlerlos und habituell werden könne, da ja die Leistung in gewisse immanente aber nicht allzu scharf gezogene Grenzen der Hirnanlage gebannt und innerhalb derselben einer günstigen Entwickelung, so wie deren Fehlern und Abweichungen unterworfen ist. Frei und abgelöst von der Gehirnthätigkeit und dessen prästabilirtem Baue ist ja doch eben keiner unserer sogenannten Willensimpulse, und am

wenigsten sind es jene, welche motorische Functionen aus-üben.

Die Parallelbewegung der Blicklinien zerfällt in zwei wesentlich verschiedene Arten:

1. die gerade, d. i. jene im senkrechten Meridian um eine feste Horizontalaxe nach auf- und abwärts. Hier sind die senkrechten Abstände der Blicklinien stets gleichwerthig mit der Grundlinie; es gibt nur einen positiven oder negativen Erhebungswinkel zwischen Blickebene und Grundebene, aber keinen Seitenwendungswinkel. Unterstützt werden diese Bewegungen in der Regel von der Halsarthrodie in gleicher Richtung, doch kommen auch Bewegungen in entgegengesetzter Richtung vor, z. B. Hebung des Kopfes, Senkung der Blicklinie.

2. Die seitliche Parallelbewegung, welche wieder zweifach sein kann und zwar a) die reine Seitenbewegung nach rechts und links im horizontalen Meridian, in der Grundebene. Hiebei gibt es blos einen positiven rechtsseitigen, oder negativen linksseitigen Seitenwendungswinkel, aber keinen Erhebungswinkel. b) Die schräge Parallelbewegung, seitlich mit Hebung oder Senkung der Blicklinien. In so viele Arten diese Bewegung auch zerfallen mag, so setzt sich doch jede derselben aus einem bestimmten Erhebungs- und Seitenwendungswinkel zusammen. Sie implicirt auch stets einen bestimmten Raddrehungs- oder Rollwinkel (Listing'sches Gesetz), welchen bekanntlich Helmholtz aus dem Erhebungswinkel α und dem Seitenwendungswinkel β für normale Augen nach der Formel

$$-\tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) = \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

berechnet, welcher aber im allgemeinen nur bei höhergradigen α und β einen erheblichen Werth erreicht, so dass man, da er selbst für 45 Grade von α und β erst [illegible] beträgt, denselben bei minimen excursiven Bewegungen der Augen in schräger Richtung in der That vernachlässigen kann. Wenn man sich daher nur mit dem Rollwinkel nicht eingehend experimentell beschäftigt hat, ohne

dass namentlich bei den zahlreichen individuellen Abweichungen die Formel für denselben mehr als einen annähernden Werth hätte: so hat man dagegen andere wichtige Verhältnisse fast unbeachtet gelassen, welche hier hervortreten, wie die bereits oben erörterte Beziehung zwischen Augen- und Halsarthrode, und die Aenderung des Werthes der senkrechten Abstände der Blicklinien bei Lateralbewegungen.

Bezüglich des Letzteren muss offenbar das allgemeine Gesetz gelten, dass bei seitlichem Blicke der senkrechte Abstand der Blicklinien unter den Werth der Grundlinie als Einheit sinke, und sich im Verhältnisse des Cosinus des Seitenwendungswinkels vermindere. Bezeichnen wir nämlich den senkrechten Abstand der Blicklinien mit A, die Grundlinie mit G, den Seitenwendungswinkel mit α, so ist

$$A = G. \text{ cosin } \alpha$$

Es gilt dies strenge für alle Fälle, implicirte Erhebungs- und Rollwinkel ändern daran Nichts. Wenn daher

$\alpha = 0°$	so ist	$A = 64$	‴
" " $1°$	"	$A = 63,_{98}$	"
" " $10°$	"	$A = 62,_{97}$	"
" " $20°$	"	$A = 60,_{13}$	"
" " $30°$	"	$A = 55,_{42}$	"
" " $40°$	"	$A = 49,_{02}$	"
" " $45°$	"	$A = 45,_{24}$	"
" " $50°$	"	$A = 41,_{08}$	"
" " $60°$	"	$A = 32$	"
" " $70°$	"	$A = 21,_{88}$	"
" " $80°$	"	$A = 11,_{07}$	"
" " $90°$	"	$A = 0$	"

Daraus ergibt sich, dass allerdings geringe Seitenwendungen auch nur geringe Verminderung der senkrechten Abstände bedingen, aber doch die Verminderung mit dem Winkel sehr bedeutend zunimmt, so dass die Differenz zwischen Grundlinie und Abstandslinie bei 45° Seitenwendung bereits $18,_{752}$‴ beträgt. Da aber für parallele Blicklinien der Cosinus des Neigungswinkels derselben

gegen einander, und der Werth der Grundlinie = Null, so ist leicht einzusehen, dass das erwähnte Gesetz beim Sehen in die Ferne, wo $A = G =$ Null ist, und die Projectionssphären der Netzhäute zusammenfallen, keine praktische Bedeutung habe. Anders ist dies aber für das parallaktische Sehen mit convergenten Blicklinien. Denn das Convergenzbedürfniss steht in inniger Beziehung zu dem senkrechten Abstande der Blicklinien, d. h. es vermindert sich im Verhältnisse des Wachsthums des Seitenwendungswinkels und der Abnahme des Werthes von A. Also brauchen wir beim seitlichen Blicke immer geringere Convergenzen aufzubringen, je mehr der Seitenwendungswinkel zunimmt. Daraus geht selbstverständlich auch ein vermindertes Accommodationsbedürfniss hervor gegenüber dem geraden Blicke. Ferner resultirt daraus nothwendig auch eine geringere Distanz der Doppelbilder endlicher Objecte, und es gestalten sich daher mehrere Bedingungen des parallaktischen Sehens im Allgemeinen günstiger. So finden wir also, dass während bei der asymmetrischen Convergenz das binoculare Muskelspiel sich offenbar complicirt, und die Congruenz der Retinalbilder leidet, doch wieder andere Bedingungen günstiger werden, so dass es dem Auge immerhin bis zu einem gewissen Grade möglich wird, das seitliche Blickfeld auszunützen, und es kann dies namentlich dazu beitragen, den seitlichen Blick allgemein schon in den ersten Lebenstagen mehr zu üben und so zu festigen.

Fassen wir schliesslich das über die Parallelbewegung Gesagte zusammen, so bedeutet dieselbe eine Bewegungsfunction des Auges von niederer Ordnung, indem sie lediglich ein Flächensehen zu Stande bringt, blos das binoculare Einfachsehen in die Ferne ermöglicht, sich nur aus Rechts- und Linkswendung, Hebung und Senkung zusammensetzt, nur bei schrägem Blick Rollungen um die Blicklinie implicirt, und mit Ausnahme der Halsarthrode keine andere Functionen, namentlich keine Accommodation auslöst.

IV. Die reciproken Netzhäute und das Tiefensehen.

Wir nennen die Convergenzbewegung der Augen auch die parallaktische, weil sich hiebei die beiden Blicklinien stets im Raume durchkreuzen, und der in der Durchkreuzung liegende Winkel der parallaktische heissen kann. Die parallaktische Bewegung geht stets gleich der Parallelbewegung aus der binocularen Ruhestellung hervor, und kehrt schliesslich wieder dahin zurück. Sie ist daher ebenso wie die Parallelbewegung, wenn sie intact vor sich gehen soll, von einer intacten anatomischen Lage der Augen abhängig.

Gewöhnlich bezeichnet man als primare parallaktische Bewegung jene, welche unmittelbar aus der primaren Stellung der Augen hervorgeht, oder dahin zurückkehrt; dagegen heissen secundäre, im Mittel liegende Bewegungen jene, welche aus einer parallaktischen Stellung in eine zweite solche übergehen, also weder von einer primaren ausgehen, noch zu derselben zurückführen.

Von besonderer Wichtigkeit ist bei der Convergenzbewegung die Grösse und Lage des parallaktischen Winkels. Denn das Motiv der Parallaxe ist die Messung der Grösse und Lage endlicher Objecte, d. i. jener, von denen divergente Strahlen zu unseren Augen gelangen, und man kann daher sagen, dass die Convergenzbewegung ein Applicationsgesetz der Augen für divergente Stralen, für die endliche Ferne sei. Insofern sich nämlich die beiden Blicklinien auf einem endlichen Objecte schneiden, umfassen die beiden Augen, ergreifen oder tasten dasselbe gleich

wie zwei Hände aus zwei verschiedenen Standpunkten in der Bahn zweier divergirender Richtungsstrahlen, und diese Function wird, wie oben erwähnt, zunächst von der Netzhaut aus dominirt, indem das Auge auf Grund der Localzeichen der Retinen dem Zwange oder mathematischen Gesetze folgt, die Bilder derselben geometrisch zu ordnen.

Die parallaktische Bewegung zerfällt zunächst in zwei strenge zu scheidende Arten: Die symmetrische und asymmetrische.

Bei der symmetrischen Convergenz befindet sich das Fixirobject in der Medianebene, und können hiebei die Blicklinien sich entweder in der Grundebene verschieben, oder mit derselben nach auf- oder abwärts einen bestimmten Hebungs- oder Senkungswinkel einschliessen. Da hier die Blicklinien stets gleichwerthig sind, so haben auch die beiden reciproken Netzhäute, die Projectionssphären, gleichen Radius und die beiden Retinalbilder sind gleich gross. Hiebei ist ferner eine gleiche Accommodation beider Augen gefordert, und ist das Gesetz des Horopters auch strenge erfüllt.

Hier ist aber sofort zu unterscheiden, dass bei symmetrischer Fixation eine Rollung der Augen um die Blicklinien als Axen nicht ausgeschlossen ist, und daher die horizontalen Meridianebenen der beiden Augen entweder zusammenfallen oder gegeneinander nach oben oder nach unten convergiren können. In ersterem Falle ergibt sich der Totalhoropter als der Durchschnitt eines Kreiscylinders, im zweiten als jener eines Kegels, dessen Spitze entweder nach auf- oder abwärts gerichtet ist.

Bei asymmetrischen Augenstellungen ist zunächst zu beachten, dass die Radien der reciproken Netzhäute oder die Blicklinien ungleich gross sind, und zwar wächst die Ungleichheit mit der seitlichen Abweichung, dem Seitenwendungswinkel. Dabei ist stets jener Radius kleiner, auf dessen Seite das Fixirobject liegt. Daraus folgt, dass das Bild jener Netzhaut, auf deren Seite das Fixirobject liegt, grösser sein müsse als das der anderen. Zugleich wird Ungleichheit der Accommodation gefordert,

und muss die Accommodationsspannung jenes Auges grösser sein, dessen Blicklinie verkürzt ist. Es versteht sich von selbst, dass alle diese Missverhältnisse mit der Grösse des Seitenwendungswinkels wachsen. Zugleich ist hiebei die perspectivische Projection der Bilder auf den beiden Netzhäuten so auffallend verschieden, die Incongruenz der Bilder nimmt so sehr zu, dass von einem einheitlichen Sehacte an den Grenzen des binocularen Blickfeldes kaum mehr die Rede sein kann. Deshalb wird die asymmetrische Convergenzbewegung auch niemals hochgradig, es tritt meist die Kopfarthrode regulirend ein, und excessivere Lateralbewegungen der Augen stehen mehr nur im Dienste des monocularen Sehactes.

Die Projectionssphären, oder wie ich sie besser bezeichnen möchte, die reciproken Netzhäute, deren Bedeutung für das Binocularsehen ich zuerst in einer Schrift (über das Binocularsehen, Prag 1859) nachzuweisen versuchte, (und deren Namen ich zuerst brauchte, was man hie und da vergessen hat), ergeben sich aus der Betrachtung eines schematischen Auges, dessen Mittelpunkt der Kreuzungspunkt der Richtungslinien ist, dessen Retina die Krümmung eine Kugelschale und das Centrum im optischen Mittelpunkte hat. Unter diesen Voraussetzungen hindert Nichts, das Verhältniss umzukehren, die Ebene der Netzhaut nach aussen zu versetzen, und als die Oberfläche einer Kugel zu betrachten, deren Centrum der optische Mittelpunkt ist, und deren variabler Halbmesser durch die Entfernung dieses Punktes von dem Fixirobjecte bestimmt wird. Die grosse Bedeutung der Projectionssphären für das Verständniss des Sehactes ergibt sich zunächst daraus, dass sie die Täuschung in Betreff der gegebenen sinnlichen Impression aufheben. Denn das Netzhautbild des Objectes ist im Verhältnisse des Radius der realen Netzhaut zu jenem der reciproken verkleinert und zugleich gestürzt, es ist eine Scheinprojection, ein Spiegelbild der Objecte, und die reale Welt kann daraus nur insofern hergestellt werden, als wir die Umkehrung und Verkleinerung aufheben, den Nenner des Bruches zum Zähler und den

Zähler zum Nenner machen. Denn $\frac{1}{a} \cdot \frac{a}{1} = 1$. Dies veranschaulichen die Projectionssphären, welche demnach den reciproken Werth des Retinalbildes ausdrücken, die Aufhebung der Projection desselben nach Innen, die Richtigstellung der von der Aussenwelt in unser Inneres projicirten Lichtstrahlen bedeuten.

Bezeichnen wir nämlich das Fixirobject mit M, sein Retinalbild mit m, den Radius der reciproken Netzhaut mit R, jenen der realen Netzhaut mit r, so ist offenbar die Fundamentalgleichung des monocularen Sehactes

$$\frac{M}{m} = \frac{R}{r}$$

und für den Schluss des Sehactes

$$M = \frac{mR}{r} = 1.$$

Ist z. B. $m = 0{,}05$, $R = 300$, $r = 15$, so ist

$$M = \frac{300.0{,}05}{15} = \frac{15}{15} = 1.$$

Es ist also auch

$$m = \frac{r}{R},\ R = \frac{r}{m},\ r = mR.$$

Dies bedeutet offenbar so viel, dass die Realität, der Werth, die Einheit des Objectes aus der Fundamentalgleichung für den Sehact hervorgehe; ferner, dass wir uns über die Entfernung des Objectes auch mit einem Auge allein orientiren können, wenn wir den Radius der realen Netzhaut und die Grösse des Retinalbildes in Rechnung bringen, denn wir finden daraus den Werth von R, ist dieser gefunden, so berechnet sich M. Die Grösse des Retinalbildes ist nämlich mit der Ziffer der erregten Localzeichen gegeben, und da sich der Radius aus einem anderen Stücke der Kugel z. B. dem Kugelsegment der erregten Netzhautpartie finden lässt, so wären eigentlich bei jeder Netzhauterregung die Factoren für die Berechnung von m, r und R geschaffen, also, wenn gleich die Berechnung vom Auge nur annähernd vor sich geht, die Bedingungen zur Orientirung im Raume, zu einäugiger Ste-

reoskopie bereits gegeben. Diese annähernde Berechnung bedeutet im Grunde dasselbe, was bereits J. Müller die angeborne Eigenempfindung der Netzhaut in ihrer räumlichen Ausdehnung genannt hat. Und in der That, gerade so wie jede Zelle ihre Eigenempfindung, ihr Bewusstsein haben muss, welche ja die Bedingung ihres Lebens ist, so ist das Bewusstsein jedes Organes als das „Summationsphänomen" der Lebensäusserungen seiner sämmtlichen constituirenden Elemente aufzufassen, es entwickelt sich und äussert sich hiedurch in seiner Eigenart. Wie die einzelnen Organe der Organismen durch Arbeitstheilung entstanden und jedes für sich eine gewisse Stufe der Entfaltung von allgemeinen Eigenschaften des gesammten Individuums und der gesammten Welt darstellt; so zeigt unser Auge als Licht- und Raumsinn von der ersten Anlage an und das ganze Leben hindurch alle Bedingungen der Entwickelung eines physikalisch-sensualen Apparates, welcher nicht wie eine todte Camera obscura die Aussenwelt in ein Bild fasst, sondern in sich und aus sich zugleich die Aussenwelt real zu erfassen, zu verarbeiten und mit den Zwecken, den Aufgaben des Totalindividuums in Einklang zu bringen hat. Wenn wir das Auge so als ein in uns lebendes Individuum auffassen, welches gleichsam die in Aeonen der Vererbung gesammelten Resultate der Wechselwirkung zwischen der organischen Welt und dem Lichte in seinem Baue und seinen Functionen repräsentirt: dann hat die Eigenempfindung der Netzhaut, ja die Arbeit derselben zum Zwecke der Orientirung im Raume kaum mehr etwas Räthselhaftes. Das Auge ist eben an dem Platze, und für den Zweck, dem es dient, ein in jedem Momente möglichst pflichttreues Organ, in jedem Momente sich seiner Aufgaben bewusst, und es vermag schon das einzelne Auge einen Theil dieser Aufgaben zu erfüllen. Wie aber unser Organismus zum grossen Theile die Doppelung der Organe, demnach die Zusammensetzung aus zwei gleichwerthigen Individuen darstellt, so ist es auch beim Auge der Fall, und wurde durch das Zusammenwirken beider im Allgemeinen auch ein höherer und

erweiterter Grad der Leistung erzielt, jedenfalls dem einen Organe in dem anderen gleichwerthigen eine Controle gesetzt, welche es möglich machte, dass der Calcul des einen stets durch jenen des anderen corrigirt, und das schliessliche Resultat viel fehlerfreier wurde, als es sonst möglich gewesen wäre. Dies gilt besonders bezüglich der mathematischen Aufgaben, welche ja unsere Sinnesorgane ununterbrochen zu erfüllen haben. Hier zeigt es sich zugleich, dass die meisten Aufgaben nach verschiedenen Methoden gelöst werden können, nach der einen langsam, schwerfällig, umständlich, nach der anderen rascher, kürzer, übersichtlicher, eleganter. Auch hiefür finden wir in allen unseren Rechenorganen Belege. So orientirt sich ein Auge mit Hilfe der Perspective oder indem es durch passive Bewegung seinen Standpunkt wechselt, wohl auch durch die oben erwähnte, aus der Empfindung der eigenen Räumlichkeit resultirende einäugige Stereoskopie. Aber die Irrungen beim monocularen Sehen sind unbestritten, und eine rasche Orientirung doch nur mit beiden Augen möglich.

Es wurde früher erörtert, dass beim Sehen in die Ferne, d. i. bei parallelen Blicklinien die beiden Kugelschalen der Netzhäute gleichsam zusammenfallen, indem die Radien der reciproken Netzhäute sehr gross sind, demnach der Werth der Grundlinie verschwindet. Wir können dann sagen, dass die beiden reciproken Netzhäute einander im mittleren Sehraume vollständig decken. Aber beim Nahesehen, d. i. bei Convergenz der Blicklinien ist dies nicht mehr der Fall, sondern die Deckung findet nur mehr lediglich im Blickpunkte statt, und diese wichtige Veränderung des Sehactes, welche denn doch bisher nicht genügend klargestellt worden ist, versinnlichen und erklären die reciproken Netzhautsphären (Projectionsphären).

Die Deutung, welche Nagel meinen Projectionssphären gegeben hat, indem er sie als diejenigen Flächen bezeichnete, auf welche im Allgemeinen die Doppelbilder projicirt werden, wonach sie die Localisation der Doppelbilder durch unser Urtheil bedeuten sollen, — gab

Veranlassung zu Einwürfen, durch welche das Kind bald mit dem Bade verschüttet worden wäre. Ich habe die Projectionssphären (l. c. p. 9) als den Ort der Projection der Retinalbilder (was dasselbe ist, wie wenn ich Projection der Retinen gesagt hätte) bezeichnet, aber lange nicht im Sinne der Projectionslehre, wonach unser Urtheil alle Objecte der Aussenwelt in diese Sphären localisirt. Mir waren dieselben lediglich eine „Versinnlichung „der Combination der Gesichtsfelder beider Augen zu dem „gemeinschaftlichen Gesichtsfelde, so wie sie mir im All„gemeinen die Lage jener Punkte im Raume bedeuteten, „für welche jedes Auge, bei Fixation eines Punktes, gleich„zeitig accommodirt ist." Ich hätte sie damals demnach besser die Accommodationssphären nennen können, und wähle heute lieber, um Irrungen vorzubeugen jenen der „reciproken Netzhäute." Daran dachte ich aber durchaus nicht, und sprach es auch nicht aus, dass unser Urtheil beim Sehen alle Objecte gerade nur dahin verlege. Dass wir den Ort, die Lage der Objecte mit Hilfe dieses Verhältnisses, dieser Beziehung unseres Inneren zur Aussenwelt finden, berechnen, will lange nicht so viel sagen, als ob wir Alles in die reciproken Sphären verlegten.

Gegen die reciproken Netzhäute, welche mit der Projectionslehre selbst gar nichts zu thun haben, wird somit kaum Etwas einzuwenden sein, indem sie ja nichts anderes sind und sein wollen als die umgekehrten Netzhäute. Wie aber sofort durch solche Umkehrung uns das Wesen des binocularen Sehactes klar werde, wie wir ein Spiegelbild desselben gewinnen, ist schon aus der beiliegenden Figur ersichtlich. Sei R das rechte, L das linke Auge, O ein Fixirobject, o_1 sein Retinalbild im rechten, o_2 im linken Auge. Kehren wir jetzt das Verhältniss um, und versetzen wir die Kugelschale der rechten Netzhaut nach AOB, jene der linken nach COD, was wir doch *ganz ohne die geringste Aenderung der Richtungslinien des Sehens*, also ohne irgend welche Verwirrung der Sache thun dürfen, so ist es ganz dasselbe, ob wir sagen, das Object O bildet sich in o_1 und o_2 ab, oder ob wir sagen, es bilde

sich in O_1, in der reciproken Netzhaut ab. (Es folgt daraus noch durchaus nicht, dass unser Urtheil in jedem Falle auch das Object dahin versetzen müsse.) Was nun von den Richtungsstrahlen Oo_1 und Oo_2 gilt, gilt von allen anderen. So haben wir denn den Nervus opticus des linken Auges in L_1, jenen des rechten in R_1, und das gleichnamige Doppelbild des ferneren Objectes p ist für die rechte

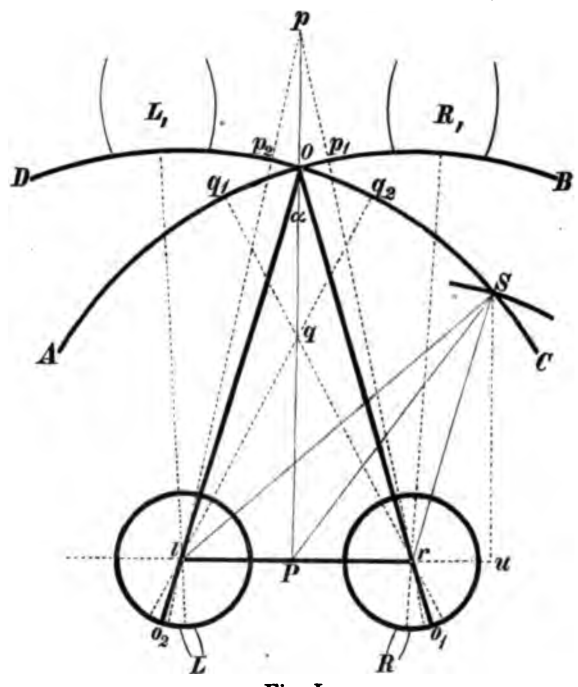


Fig. I.

Netzhaut in p_1, die linke in p_2 zu suchen, das gekreuzte Doppelbild des näheren q für das rechte in q_1, für das linke in q_2 u. s. w.

Das Wichtigste bei der Herstellung dieses reciproken Verhältnisses ist die Versinnlichung der Art, wie sich die beiden Augen bei convergenten Blicklinien verbinden, gatten, und die Netzhautsphären einander kreuzen, der parallakti-

sche Winkel α zu Stande kommt. Dieser ist offenbar gleich dem Winkel DOA und BOC, welchen die beiden Sphären mit einander einschliessen; er wächst und fällt mit jenem.

Thatsächlich verbinden sich beim binocularen Sehact mit convergenten Blicklinien die beiden Netzhäute in der bezeichneten Weise, aber nicht zu einem cyklopischen Auge. Wir schauen eben nicht mit der Nase und nicht in identischen Sehrichtungen, sondern mit zwei Augen, deren Abstand, die Grundlinie, beim parallaktischen Sehen durchaus nicht, wie beim Sehen mit parallelen Blicklinien, vernachlässigt werden darf, ja welcher ganz vorzüglich die Bedingung des Zustandekommens der Parallaxe setzt. Aus unserer Figur ist ferner ersichtlich, dass mit dem parallaktischen Winkel sofort eine Tiefenaxe im Raume zu Stande kommt, da ja die Retinen nach ihrer Durchkreuzung auseinandertreten. Der Ort des Fixirobjectes, welches in den Nullpunkt der Coordinatenaxen fällt, und der parallaktische Winkel bestimmt sich nun aus der Grundlinie und den anliegenden Winkeln, und ebenso ist der Divergenzwinkel zweier Richtungsstrahlen, die von welchem beliebigen Objecte der Aussenwelt immer unter allen Verhältnissen normal auf je eine reciproke Netzhaut fallen, wenn der parallaktische Winkel bekannt ist, leicht nach den Grundsätzen der Dreiecksrechnung zu finden. Damit kann der wahre Ort jedes Objectes im Raumer bestimmt werden. Es können verschiedene Methoden diese Bestimmung, welche selbstverständlich stets für das Auge blos constructive bleiben, gewählt werden. Das Resultat derselben, welches nichtsdestoweniger streng geometrisch sein muss, obgleich die Bestimmung scheinbar unbewusst und unmittelbar zu Stande kommt, ist das befriedigende *Gefühl der Tiefenempfindung*.

So kann, um ein Beispiel zu wählen, wenn die Lage des Objectes O und der parallaktische Winkel α bekannt ist, die Lage des ferneren Objectes p und ebenso jene des näheren q leicht aus der Entfernung ihrer Doppelbilder von O auf der reciproken Netzhaut gefunden werden.

Bezeichnen wir nämlich in dem rechtwinkligen Dreiecke pp_1O den Winkel pOp_1, welcher der halbe Nebenwinkel des parallaktischen ist, mit β, und ist arc. op_1 = chord. op_1 so ist

$$Op = \frac{Op_1}{\cos\beta} \text{ und ebenso } Oq = \frac{Oq_2}{\cos\beta}$$

und dasselbe gilt bezüglich der Dreiecke pOp_2 und qOq_1. Die Bestimmung der Lage von p und q, sobald O fixirt wird, kann allerdings niemals mit Genauigkeit stattfinden, weil die Doppelbilder p_1p_2 und q_1q_2 nicht gleich scharf wie das Fixirobject gesehen werden können, d. h. ihre Beziehung zu den Localzeichen der Netzhaut nicht völlig genau ist.

Das Wesentliche bleibt daher beim Tiefensehen immer die Orientirung über die Lage des Fixirobjectes O, welche sich entweder aus dem Neigungswinkel der Blicklinien und der Grundlinie ergibt

$$OP = Pr \,.\, \text{tang}\, OrP$$

oder aus dem parallaktischen Winkel α

$$OP = \frac{Pr}{\text{tang}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = Pr \text{ cotang } \left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

und jeder dieser Werthe kann daher als Grundgleichung für das Tiefensehen bei symmetrischem convergirenden Sehen gelten.

Für den seitlichen Blick oder das unsymmetrische Sehen verwandelt sich der Werth von Pr allgemein in die halbe Abstandslinie A. (pag. 38.) Wenn also z. B. in unserer Figur das seitliche Object S fixirt wird, dessen senkrechter Abstand von der Grundlinie Su ist, so ist

$$Su = \frac{A}{2} \,.\, \text{tang}\, OrP$$

und kann Su auch durch die Grundlinie selbst und die Neigungswinkel der beiden Blicklinien ausgedrückt werden, nämlich

$$Su = lr \,.\, \frac{\sin Slr \,.\, \sin Sru}{\sin(Sru - Slr)}$$

Die Grundgleichung für die Orientirung über die Doppelbilder, also über die Lage der aus-

serhalb des Fixirobjectes gelegenen Gegenstände ist dagegen wie oben

$$Op = \frac{Op_1}{\cos \beta} \text{ u. s. w.}$$

Wir sehen also in die Tiefe mit Hilfe der Localzeichen der Netzhaut, des Abstandes der beiden Augen von einander und des parallaktischen Winkels. Von einer Projection ist hiebei keine Rede, sondern Alles ergibt sich aus dem psychischen Calcul.

Was man für das Auge die Hilfe der sogenannten Erfahrung genannt hat, reducirt sich auf die Handhabung mathematischer Factoren, welche, um möglichst exact zu werden, allerdings wiederholte Uebung fordert, aber im Grunde doch nichts anderes ist und sein kann als ein geometrischer Process! — Erfahrung ist hier eben Uebung im Messen, Zählen u. s. w.

Ich weiss sehr wohl, dass sofort von mancher Seite der Einwurf gemacht wird: Unser Auge rechnet ja nicht, sondern hat lediglich ein Gefühl der Tiefe, es kennt den Werth der Grundlinie nicht, auch nicht jenen der Parallaxe, wie kann es denn sich nach trigonometrischen Gesetzen benehmen?

Darauf erlaube ich mir aber zu erwidern: Alle thierischen Gefühle und sogenannten Instincte sind in der That sehr eigenthümliche Erscheinungen der organischen Welt. Es wird wohl erlaubt sein, sie als das ererbte Resultat einer viel tausendjährigen ernsten Arbeit des Organischen aufzufassen zu dem Zwecke, um sich die allgemeinen Gesetze der Natur dienstbar zu machen oder sich denselben anzupassen. In jedem Gefühle oder jeder instinctiven oder sogenannten unbewussten organischen und thierischen Leistung treten wir daher die Erbschaft einer Applicationsarbeit des Organischen an, welches unter der Schwelle unseres Bewusstseins seit Aeonen und noch heute mit einem ihm selbst viel bewussteren und exacteren Calcul und viel strenger wissenschaftlich arbeitet, als es sich unsere Schulweisheit träumen lässt. Auch unser Auge ist ein solcher treuer, verlässlicher Diener im Dienste der

Naturgesetze und zugleich im Dienste unseres Ich. Seine Probleme rechnet es für sich unterhalb der Schwelle unseres Bewusstseins aus und bringt das glückliche Resultat unserem Ich fertig und vollendet entgegen, welches dasselbe hinzunehmen und zu seinen Eigenzwecken zu verwenden pflegt, ohne darnach zu fragen, wie das untergeordnete Organ die Arbeit fertig gebracht hat. Je exacter dessen Leistung, je schneller es uns bedient, desto besser.

Unser Ich steht eben auf höherem Standpunkte, es arbeitet je mit dem Totalbewusstsein; aber von unseren Organen sagen wir, weil ihr Bewusstsein unter der Schwelle desselben steht: sie arbeiten unbewusst, aus dunklen Gefühlen, aus Instinct! — Und doch sind die Leistungen dieser allenthalben und ununterbrochen in engen Schranken strenge, und in der Regel exact d. h. mathematisch genau, während das Totalbewusstsein, unser Ich, sich möglichst ausserhalb der Schranken strenger Gesetze zu bewegen strebt, und sich meist mit sehr oberflächlichen, ungenauen Resultaten begnügt.

Wenn man gewöhnlich die Tiefenwahrnehmung als das Resultat der erfahrungsmässigen Combination zweier perspectivischer Ansichten bezeichnet, so muss doch wieder gefragt werden, wass denn unter jener Combination zu verstehen sei, und Niemand wird, — da es sich hier lediglich und wesentlich um Ortsbestimmungen handelt, und zwar um die gleichzeitige Unterscheidung einer Mehrheit von hintereinander gelegenen Orten, — läugnen können, dass eine solche Unterscheidung allein auf geometrischen Gesetzen ruhen könne, dass die Tiefenempfindung der Ausdruck eines geometrischen Schlusses sein müsse! —

Freilich haben wir, um den Process der Tiefenwahrnehmung ganz klar zu stellen, uns darüber zu verständigen, dass alle Functionen des Organischen in eine doppelte Reihe zerfallen, jene, welche unter oder über der Schwelle des Hirnbewusstseins stehen. Zum Theile ist diese Unterscheidung in Uebereinstimmung mit der älteren Unterscheidung der Functionen in unwillkürliche und willkürliche oder in jene, welche dem Empfindungscen-

trum und dem Vorstellungscentrum zufallen. Jedoch darf dieser Unterschied nicht so scharf gezogen werden als gewöhnlich geschieht. Denn es gelangen die, eigentlich sehr unpassend sogenannten, unwillkürlichen Thätigkeiten in der That sehr häufig über die Schwelle des Hirnbewusstseins und umgekehrt sinken die Hirnthätigkeiten unter diese Schwelle herab. Während die unwillkürlichen Thätigkeiten nämlich in der Regel exact vor sich gehen, und nur ihr Resultat sich mehr oder minder über die Schwelle des Bewusstseins erhebt, sind die eigentlichen Hirnthätigkeiten nur selten exact, sondern meistens unklar, träumerisch, und von allerlei äusseren Verhältnissen abhängig, so dass es scheint, als ob sie dann im Werthe der Leistung tief unter jenen der unwillkürlichen Thätigkeiten ständen.

Dies auf die geometrische Leistung der Sehfunction angewendet, finden wir, dass die Flächen- und Tiefenempfindung eigentlich und strenge in die Kategorie jener Functionen gehört, welche unterhalb der Schwelle unseres Bewusstseins vor sich gehen, indem sie unmittelbar aus den Beziehungen des Sehorgans zu der Wirkung des Lichtes auf dasselbe sich ergeben oder so zu sagen intuitiv sind. Wenn sich die Leistungen des Auges über die Schwelle des Bewusstseins erheben d. h. in das Bereich des Vorstellungscentrums gelangen sollen, wenn wir über Entfernungen der Objecte ein bewusstes Urtheil fällen sollen, dann müssen wir in der That denselben Weg einschlagen, welchen das Auge gewählt hat, um unwillkürlich zu dem befriedigenden Resultate der Tiefenempfindung zu gelangen, d. h. wir müssen ausmessen. Der Methoden dieser Messung können wir allerdings verschiedene wählen, verlässliche und unverlässliche, genaue oder annähernde. Zu den genauen gehört das Ausmessen mit Cirkel und Elle oder die trigonometrische Rechnung. Zu den ungenauen gehört das sogenannte „Augenmass.“ Die Physiologie hat sich, wie ich glaube, vergebens abgemüht, das Augenmass auf verschiedene Factoren, wie Muskelgefühl, Farbencontraste, Gesichtswinkel etc. zurückzuführen und

zu deuten. Das Eine ergab sich aus allen diesfälligen sehr emsigen Versuchen, dass die Resultate des Augenmasses niemals exact sind. Man hat nun die Fehler, welche hiebei vorkommen, sogar in die doppelte Kategorie der constanten und variablen geschieden, und es hat sich gezeigt, dass geübte Forscher allerdings die Fehler des Augenmasses allmälig vermindern aber niemals vollständig beseitigen können. Es zeigt sich ferner im täglichen Leben, dass Leute, welche überhaupt nicht messen gelernt haben, auch gar kein Augenmass besitzen, wohl aber eine ganz exacte Tiefenempfindung; welche sie bereits seit den ersten Lebenstagen sofort zu Stande bringen, wenn sich ihre beiden Blicklinien auf einem Fixirobjecte durchkreuzen. Andere, welche messen gelernt haben, besitzen dieselbe Tiefenempfindung, und können nebstdem im Augenmass durch Uebung zu grosser Routine, aber weil diese Messung niemals exact, sondern nur annähernd und vergleichend stattfindet, nicht ohne einige constante Fehler gelangen.

Das sogenannte Augenmass ist nämlich Nichts anderes, als eine auf die schon früher erworbenen Kenntnisse bei wirklichen directen Ausmessungen sich stützende Messung, und daher lediglich eine beiläufige Schätzung von Entfernungen, eine bewusste, aber unsichere, ungenaue Messung, welche sich auf Grundlage der bereits unabhängig von ihr gegebenen Tiefenempfindung aufbaut.

Die Tiefenempfindung selbst aber kam auf folgende Art zu Stande: Wenn wir mit fixem einem Auge einen fixen nahen Gegenstand betrachten, so gewinnen wir ebenso wie bei Betrachtung eines fernen Objectes mit parallelen Blicklinien beider Augen lediglich ein Flächenbild, welches im Allgemeinen in der Kugelebene der reciproken Netzhaut ruht und daselbst empfunden wird. Doch muss zwischen dieser Flächenempfindung und dem bewussten Urtheile über die Lage der Objecte in Beziehung zu dem Flächenbilde unterschieden werden. Wir vermögen allerdings, wenn wir mit einem Auge einen Baum einer

Allee fixiren, aus der Perspective ein Urtheil über die Tiefe der Allee uns zu bilden, aber lediglich ein bewusstes, niemals ein unbewusstes, d. i. wir kommen zu keiner unmittelbaren Empfindung der Tiefe.

Wenn wir dagegen nunmehr auch das zweite bisher vom Sehacte des nahen Objectes ausgeschlossene Auge öffnen, so gewinnt es für sich gleichfalls vorerst bei parallelen Blicklinien blos ein Flächenbild, und alle nahen Objecte erscheinen uns doppelt. Sobald aber die beiden Blicklinien gegen ein Fixirobject convergiren und daselbst zusammenfallen, dieses daher einfach erscheint, und sein Ort im Raume sich sofort aus der Tangente des Neigungswinkels, also nach seinem Tiefenwerthe genauer ergibt, so ordnen sich auch im selben Momente die sämmtlichen seitlichen Doppelbilder der beiden reciproken Netzhäute mit Hilfe der Parallaxe und der oben dargestellten Gleichungen geometrisch genau zur *Construction* der Tiefe für alle im Blickfelde gelegenen Objecte. Jedes Auge für sich sieht also allenthalben flächenhaft, beide zusammen bei parallelen Blicklinien gleichfalls; aber bei convergenten Blicklinien, wo die beiden reciproken Netzhäute nicht mehr zusammenfallen, sondern sich kreuzen, und eine Tiefenaxe zu Stande bringen, tritt sofort auf Grund des nunmehr ermöglichten Calculs des organischen, sogenannten Empfindungscentrums und bei Fortbestand der Doppelbilder die Empfindung der Tiefe auf, und zwar zwingend, unmittelbar, ohne dass unser bewusstes Urtheil daran einen Antheil hätte! —

Was uns am Stereoskop so ganz besonders frappirt, ist nicht die Empfindung der Tiefe an sich, welche es gibt, sondern die bildliche Darstellung der beiden flächenhaften, perspectivischen reciproken Netzhautsphären, bei deren Vereinigung im Sinne der Parallaxe sofort das Zustandekommen der Tiefenempfindung sich uns so schön illustrirt und damit ein Problem des Sehactes einfach praktisch löst, welches unzweifelhaft zu den schwierigsten der physiologischen Optik gehört, welches ich aber

in diesen Zeilen hiemit geometrisch und psychologisch genau gelöst zu haben glaube.

Ich gebe hier schliesslich eine Tabelle über den halben parallaktischen Winkel $\frac{\alpha}{2}$ und die bezügliche Entfernung B in Millimetern, bei welcher symmetrische Convergenz stattfindet, wenn die halbe Grundlinie $A = 32^{mm}$ ist, nach der Gleichung $B = \frac{A}{\text{tang}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$

$\frac{\alpha}{2}$		B	
0·1	Secunde	66000000	Millimeter
0·2	„	33000000	„
1·0	„	6600000	„
10	„	660000	„
30	„	220000	„
1	Minute	110000	„
5	„	22000	„
30	„	3667	„
1	Grad	1833	„
2	„	916	„
3	„	610	„
4	„	457	„
5	„	365	„
6	„	304	„
7	„	260	„
8	„	227	„
9	„	202	„
10	„	181	„
11	„	164	„
12	„	150	„
13	„	138	„
14	„	128	„
15	„	119	„
16	„	111	„
17	„	104	„
18	„	98·4	„

$\frac{\alpha}{2}$		*B*	
19	Grad	92·9	Millimeter
20	"	87·9	"
21	"	80·3	"
22	"	79·2	"
23	"	75·3	"
24	"	71·8	"
25	"	68·6	"
26	"	65·6	"
27	"	62·8	"
28	"	60·1	"
29	"	57·7	"
30	"	55·4	"
31	"	53·2	"
32	"	51·2	"
33	"	49·2	"
34	"	47·4	"
35	"	45·7	"
36	"	44·0	"
37	"	42·4	"
38	"	40·9	"
39	"	39·5	"
40	"	38·1	"
41	"	36·8	"
42	"	35·5	"
43	"	34·3	"
44	"	33·4	"
45	"	32·0	"

V. Die Theorie des Schielens, Strabotomie und Enucleatio bulbi.

Seit jener Zeit, wo Heister das Schiekeln einen Fehler der Augen genannt hat, wobei sich dasselbe allezeit gegen einen andern Ort hinwendet, als wo die Leute wollen hinsehen, hat man bis auf unsere Tage diese Krankheit meist blos symptomatologisch aufgefasst und lediglich versucht, bei der Definition derselben die hervorragendsten Erscheinungen, hie und da auch einige Ursachen zusammenzufassen. Donders hat schliesslich ganz bestimmt behauptet, das Schielen sei in der That gar keine selbständige Krankheitsform, sondern nur ein Symptom, und die Semiotik habe allein über dasselbe im Allgemeinen zu handeln.

So verdienstlich nun auch die diesfälligen Arbeiten von Donders über den Zusammenhang des Schielens mit Refractionsstörungen (Hyperopie oder Myopie) sein mögen, so folgt daraus doch immer noch nicht, dass dasselbe keinen Platz unter den „selbständigen" Krankheiten in Anspruch nehmen dürfe, denn darüber ist jedenfalls kein Zweifel, dass die Symptome des Schielens, wenngleich in der Minderzahl — auch unabhängig von Refractionsstörungen vorkommen; dass sie ferner für sich eine sehr markirte Gruppe von Erscheinungen bilden. Und selbst wenn diese sich unbedingt stets aus anderen Krankheitsformen entwickeln sollten, so ist es doch allenthalben in der Pathologie gerechtfertigt, auch secundäre Krankheiten als bestimmte Krankheitsformen im Systeme festzuhalten, insofern sie wieder zu einem neuen reichen Centrum von

pathologischen Symptomen werden, die sich alle charakteristisch um dasselbe gruppiren. So ist es auch mit dem Schielen. Das Bild desselben ist so bedeutsam, die Symptome führen so zwingend nach einem bestimmten Mittelpunkt hin, dass man es aus der Systematik der Augenkrankheiten niemals wird eliminiren können. Zu einer Thüre herausgedrängt, kommt es bei der anderen wieder herein.

Es ist freilich bei der grossen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, bei den Verschiedenheiten der Gradationen und Arten des Schielens nicht leicht, das Wesen desselben in wenige Worte zu fassen. Die Versuche hiezu sind nicht immer glücklich ausgefallen, und haben hie und da der Klärung der Sache mehr geschadet als genützt. Aber sie müssen immer erneuert werden: eine fortdauernde Discussion des Gegenstandes erscheint umsomehr erwünscht, als uns damit durchaus nicht gedient sein kann, wenn man lediglich die disjecta membra der Symptome dieser Krankheit bei einzelnen, noch so richtig anerkannten Ursachen hervorhebt.

Als Beleg hiefür seien einige Definitionen des Schielens angeführt. Heister markirte blos das Symptom mangelhafter Fixation ganz allgemein. — Chelius bezeichnete das Schielen als Störung des Consensus der beiderseitigen Augenmuskeln. Wenn wir Consensus mit gleichmässiger Innervation beider Augen oder Coordination oder Association im Sinne neuerer Auffassung übersetzen, da es wohl dasselbe bedeuten wird, so wäre das Schielen nach Chelius eine Nervenkrankheit, eine Störung immanenter, unwillkürlicher Bewegung, vorüber sich dieser Autor freilich nicht genauer aussprach. — Ruete nannte es einen Zustand, wo die Sehaxen nicht beliebig lange willkürlich zur Durchkreuzung gebracht werden können. Dies bedeutet also wieder eine Krankheit der willkürlichen Convergenzbewegung, aber sagt nicht, wodurch diese Bewegung gestört wird. — Die Definition von Andreae: Abweichung des Auges von der geraden Richtung, daher ein Auge den Bewegungen des anderen nicht folgt, ist völlig unklar und unwahr, indem die Mitbewegungen beim Schielen

nicht aufhören. Am nächsten läge vorauszusetzen, dass Andreae eine Störung der Parallelbewegung im Sinne hatte, was er jedoch nicht klar ausgesprochen hat. — Nach Roser soll das Schielen in Divergenz der Sehaxen bestehen, was wohl gleichfalls eine unglückliche Bezeichnung für Aufhebung des Parallelismus bedeuten möchte, denn unter Divergenz der Sehaxen versteht man sonst allgemein lediglich die Form des Divergentschielens. Nach Böhm bedeutet Schielen den Verlust der accommodativen Bewegung der Sehaxen, und kommt diese Definition jener von Ruete nahe, indem wohl die accommodative Bewegung dasselbe sagt wie Convergenzbewegung. Aber von einem völligen Verlust dieser Bewegung kann beim Schielen keine Rede sein, höchstens von einer Störung, und dies auch nur in einzelnen Fällen. — Stellwag hat im Laufe der Zeit in den verschiedenen Ausgaben seines Lehrbuches die Ansichten über das Schielen mehrfach geändert. Schliesslich gab er sich der nativistischen Theorie gefangen, und nennt es eine Coordinationsstörung mit den beiden Formen der Vermehrung oder Verminderung der Convergenzbreite, nähert sich demnach der Theorie von Chelius. — Arlt gibt eine complicirte Definition, welche eine Reihe der vorzüglichsten Symptome markirt, worunter besonders die active, unwillkürliche, auf Muskelcontractur beruhende Ablenkung der Sehaxe hervorzuheben wäre. Damit dürfte wieder eine nervöse Störung im Sinne von Chelius gemeint sein, indem wir die active Muskelcontractur denn doch in letzter Instanz nur auf eine Innervationsanomalie zurückführen können. — v. Gräfe hat das Schielen als die Unfähigkeit, die beiden Sehaxen in einem Fixirpunkte zur Durchkreuzung zu bringen, bedingt durch ein Missverhältniss zwischen den mittleren Muskellängen, bezeichnet. Dies ist in der That die erste a n a t o m i s c h e Definition des Schielens, welcher wir in der gesammten diesfälligen Literatur begegnen. Merkwürdiger Weise hat dieselbe aber wenig Glück gehabt, d. h. sie wurde wenig beachtet, obgleich sie nach meiner Ueberzeugung dem Wesen der Sache viel näher kommt als alle anderen Definitionen;

sie wurde bald von der Auffassung Donders in den Hintergrund gedrängt, welcher sich bei der Definition nicht lange aufhielt, sondern sofort zur Schilderung der Symptome überging, nachdem er kurz das Schielen im Sinne Heisters als eine Abweichung in dem Stande der Augen bezeichnete, in Folge deren die beiden gelben Flecke Bilder von verschiedenen Objecten empfangen. Die Antwort auf die Frage, was er sich unter dieser Abweichung in dem Stande der Augen denke, hätte uns der geistreiche Physiologe immerhin mit beantworten können; aber ihm scheint es wesentlich darum zu thun gewesen zu sein, seine Forschungen über das ätiologische Moment der Refractionsanomalien zu betonen, und dabei verlor er das Wesen aus dem Gesichte. Ich bin weit entfernt, Donders darüber einen Vorwurf zu machen. Im Gegentheil hat dieser unermüdliche Forscher auf dem Gebiete des Schielens, wenn er es auch nicht erschöpfte, doch vielfach anregend gewirkt.

Wenn wir das Wesen des Schielens erfassen wollen, so müssen wir zu den Quellen der arthrodischen Bewegung des Auges zurückgehen, da ja Störungen derselben hier unzweifelhaft vorliegen. Die Frage muss scharf formulirt werden: haben wir es in letzter Instanz mit einer anatomischen oder physiologischen Störung zu thun? d. h. geht das Schielen aus einer Innervationsanomalie hervor oder aus einer Störung der arthrodischen Gelenksvorrichtung? Wenn ersteres der Fall ist, so könnten periphere oder centrale Innervationsstörungen der lichtempfindenden oder motorischen Factoren vorliegen. Wenn letzteres, so können Conformationsfehler des Gelenkkopfes (und optische Störungen) oder der Pfanne oder der Muskeln und Bänder vorhanden sein.

Da schliesslich alle functionellen, dynamischen Störungen nur in anatomischen Veränderungen ihre letzte Quelle haben müssen, so wird sich eine solche finden lassen, aus welcher die ganze Summe der Erscheinungen hervorgeht; diese würde sodann das Wesen des Schielens begründen.

Ich höre hier sofort die Antwort im Sinne Donders: Optische Störungen (Refractionsanomalien) gehören in das Bereich jener anatomischen Veränderungen im Gelenkkopfe, welche eben als constante Ursache der Bewegungsanomalien oder dynamischen Störungen aufzufassen sind. — Dies kann jedoch nicht unbedingt zugegeben werden. Selbst Donders muss dem „Besonderen Bau oder Innervation der Muskeln, ferner Astigmatismus, Hornhauttrübungen etc." einen Einfluss, wenn auch in zweiter Reihe auf die Entwickelung des Schielens, ebenso die Entwickelung aus Entzündungen, Paralysen, die Complicationen von Cataracta congenita, Nystagmus zugestehen. Das Erblichkeitsmoment lässt er freilich nur insofern gelten, als es durch Refractionsstörungen zum Strabismus führt.

Wenn nun zugegeben werden muss, dass sich der ganze Symptomencomplex auch aus sogenannten materiellen Muskel- oder Gelenkskrankheiten, aus Nervenkrankheiten etc. des Auges unabhängig von optischen Störungen entwickeln könne, so kann kein Zweifel sein, dass wir den eigentlichen Schwerpunkt der Symptome anderswo zu suchen haben, als in Refractionsanomalien. Schon Gräfe hat (Arch. III p. 185 ff) den Grund des Schielens in dem Missverhältniss zwischen den mittleren Muskellängen gesucht, und die strenge Unterscheidung desselben von allen Krankheiten der Innervation urgirt, wobei er betonte, dass es gleichgiltig sei, ob wir es mit einer abnormen Insertion oder einer Structursänderung im Muskel zu thun haben, indem beide für das Symptom des Schielens (die Bewegungsstörung) äquivalent seien.

Damit stellte sich Gräfe, wie oben erwähnt, entschieden auf den anatomischen Standpunkt, welchen auch ich festhalte, indem ich noch allgemeiner, als er gethan, das Schielen als e i n e n F e h l e r d e r a n a t o m i s c h e n S t e l l u n g d e r A u g e n bezeichne. Jede Störung dieser muss eine Störung der Gesammtleistung der arthrodischen Gelenksvorrichtnng involviren, insofern die normalen Bewegungen der beiden Augen nur von einer normalen ana-

tomischen Stellung ausgehen können. Denn das arthrodische Auge verhält sich in Beziehung auf die binoculare Bewegung ähnlich wie die Hüftgelenke, wo jeder Lagenfehler des einen oder beider zu einer Bewegungsänderung führt, indem sie die Gleichgewichtslage, damit die harmonische Bewegung des Schreitens stört. Beim Schielen lassen sich thatsächlich alle Erscheinungen ungezwungen auf eine Störung der anatomischen, der Gleichgewichts- oder Ruhelage der Augen, demnach auf eine Störung der binocularen Primarstellung zurückführen. Wir müssen jedoch einen Unterschied zwischen Stellungs- und Lagenfehlern des Auges machen. Die ersteren involviren Drehungen um eine oder mehrere Hauptaxen (Strabismus), die zweiten Verschiebungen des Drehpunktes, Statopathien im engeren Sinne. Auch muss die Störung der anatomischen Stellung (Strabismus) von der dynamischen Ablenkung des Auges unterschieden werden. Diese ist nämlich zeitweiliges Resultat der Muskelwirkung, tritt also durch Bewegung in die Erscheinung, während der Stellungsfehler im Momente der Ruhe sich manifestiren muss. Dies schliesst aber nicht aus, dass sich beide combiniren, ja die Combination ist sogar sehr gewöhnlich.

Im Grunde hat dies bereits Gräfe angedeutet, indem er mindestens eine strenge Unterscheidung des Schielens von den Innervationsanomalien forderte, was übrigens auch schon die Alten thaten, indem sie Strabismus und Luscitas auseinanderhielten, aber die Entwickelung des einen aus dem anderen zugaben. Hätte man dies consequent gethan, so wäre die Verwirrung über diesen Gegenstand nicht hereingebrochen.

Denn aus dem Stellungsfehler beim Schielen muss allerdings nothwendig ein Bewegungsfehler folgen, aber die musculare Innervation kann hiebei absolut oder relativ intact sein. Erst später entwickeln sich wahre Muskel- und Innervationskrankheiten (Insufficienzen, Paralysen, Contracturen) aus dem Stellungsfehler. Umgekehrt erzeugen Innervationsanomalien vorerst Ablenkungen des Auges, welche, wenn sie länger dauern, sich in Stellungs-

fehler umbilden können. Daher kann sich eine Paralyse oder Contractur aus Strabismus, und ein Strabismus aus Krampf oder Lähmung herausbilden. Diese wechselseitigen Uebergänge sind sogar sehr häufig, aber sie ändern nichts an der Nöthigung, principiell und im System die Stellungsfehler im Gegensatze zu den Bewegungsfehlern aufzufassen und festzuhalten.

Die Stellungsfehler des Auges zerfallen in sehr verschiedene Formen, jedoch kann man nach den Hauptaxen des Auges unterscheiden:

1. Strabismus convergens und divergens, (Ein- und Aussenschielen mit Drehung um die senkrechte Axe).

2. Strabismus superior und inferior, (Oben- und Untenschielen mit Drehung um die Horizontalaxe).

3. Strabismus rotatorius convergens und divergens, (Rollschielen um die Tiefenaxe des Auges mit Neigung der senkrechten Meridiane nach oben innen oder unten innen).

Da der Strabismus offenbar sowohl einseitig als beiderseitig entwickelt sein kann, und an jedem Auge gleichzeitig mehrere Formen vorkommen, und verschiedene Formen sich an beiden Augen combiniren können, so ergibt sich, dass das Bild der Schielformen ein sehr wechselndes sein müsse. Es kann z. B. Strabismus convergens, superior und rotatorius convergens des linken Auges sich mit Strabismus divergens, inferior, und rotatorius divergens des rechten Auges gleichzeitig combiniren u. s. w.

Wenn sich nun noch Verschiebungen der Drehpunkte hinzugesellen, so ist es selbstverständlich, dass das Bild der Störungen der Bewegung, welches sich implicirt, ein sehr wechselndes und mannigfaltiges sein werde. Bisher hat man seine Aufmerksamkeit mehr nur der ersten Form des Schielens, dem Ein- und Aussenschielen zugewendet, und die anderen Formen wurden nahezu gänzlich vernachlässigt. Namentlich geschieht des Rad- oder Rollschielens kaum irgendwo Erwähnung. Dies ist allerdings erklärlich, da dasselbe zwar die Form des Horopters modificirt, und zu Neigungen der Doppelbilder führt, aber das binoculare

Einfachsehen nicht aufheben, und sich auch durch eine Aenderung des Blickes nicht äusserlich bemerkbar machen muss. Daher kann heute über die Häufigkeit der verschiedenen Schielformen noch gar nichts Bestimmtes angeführt werden. Es ist wahrscheinlich, dass niedere Formen des Schielens bei den meisten Menschen — ganz so wie Astigmatismus — gewöhnlich vorkommen, aber da sie durch ausgleichende Bewegung maskirt werden, und keine auffallenden Blickänderungen hervorbringen, werden sie leicht übersehen.

Ich will im Folgenden die Symptomatologie des Schielens blos in allgemeinen Umrissen entwickeln, mehr nur zu dem Zwecke, um aus den Erscheinungen nachzuweisen, dass es sich hier thatsächlich um einen Stellungsfehler handle.

Der Schielwinkel α ist der Ausdruck des Stellungsfehlers. Er hat mit Beziehung darauf einen constanten Werth, und ändert sich daher nur bei progressiven oder regressiven Formen des Schielens mit diesen. Der Schielwinkel wird gemessen durch den Bogen der Ablenkung des Auges φ und den Radius R desselben

$$\alpha = \frac{\varphi \cdot 180}{\pi \cdot R}$$

Einem Bogen von 1 Millimeter am Auge entsprechen in runder Zahl 5^0, wenn R mit 12^{mm} angenommen wird. Die Ablenkung des Auges A ist aber nicht immer gleich dem Schielwinkel, vielmehr ist sie in der Regel grösser als der Schielwinkel und zwar um einen meist variablen Winkel, den Ablenkungswinkel β.

Daher ist das Schielen S auszudrücken durch

$$S = A - \beta = \alpha \text{ und } A = \alpha + \beta.$$

Dies gilt für ein Auge. Für beide Augen ist

$$S = (A - \beta) + (A_1 - \beta_1) = \alpha + \alpha_1.$$

Da das Schielen monocular und binocular vorkommen kann, und an jedem Auge verschiedene Formen und auch verschiedene Grade derselben Form vorhanden sein können, so ist es erklärlich, dass der Schielwinkel α des einen Auges

nicht gleich sein müsse dem Schielwinkel α_1 des anderen.

Es ist aus obigen Formeln ersichtlich, dass der Schielwinkel nur dann manifest hervortrete, und genau gemessen werden könne, wenn der Ablenkungswinkel eliminirt wird. Jedoch ist dies nicht immer möglich. Im Allgemeinen hängt das Auftreten des Ablenkungswinkels von zahlreichen zufälligen Factoren, wie von der Blickrichtung, von der Quote des Convergenzbestrebens, von der Gemüthsstimmung ab; er kann auch unabhängig davon einen gewissen constanten Werth haben, insofern namentlich Krampfzustände, Contracturen der Muskeln sich aus Stellungsfehlern entwickeln, die sie dann dauernd begleiten. Ganz ebenso sehen wir die Myopie durch eine bestimmte Ziffer von implicirtem Accommodationskrampf häufig scheinbar gesteigert. Man wird auch beim Strabismus nur durch Narkotisirung der Muskel den zu Grunde liegenden Stellungsfehler genau eruiren können.

Da beim Schielen die Parallelstellung im Allgemeinen gestört ist, so muss die daraus hervorgehende Parallelbewegung ebenso wie die Convergenzbewegung eine scheinbare Störung erfahren. Aber es ist durchaus nöthig hervorzuheben, dass diese Störung der Bewegung wesentlich und primär nicht aus einer Innervationsanomalie, aus einer Coordinationsstörung hervorgehe, sondern dass die Coordinationsinnervation vielmehr in der Regel anfangs intact sei, und erst später auf Abwege gerathen könne. Es ist dies geradezu charakteristisch für die reinen Formen des Schielens, und hat ja zu der Bezeichnung „freies, bewegliches Schielen" geführt. In der That ist die Beweglichkeit des Auges bei reinen und niedergradigen Schielformen, sobald es vom binocularen Sehacte ausgeschlossen wird, weder in der Schielrichtung noch nach der anderen Seite merkbar beschränkt, und macht sich selbst bei höheren Formen nach der dem Schielen entgegengesetzten Seite nur dem Grade des Schielwinkels entsprechend bemerkbar. Ja es kann selbst dieser durch

forcirte Innervation überwunden werden. Beim binocularen Sehacte muss aber eben die intacte Coordinationsinnervation zu fehlerhafter Leistung führen, weil alle Bewegungsformen von einer Störung der Parallelstellung ihren Ausschritt nehmen.

Nehmen wir an, das linke Auge sei einschielend, und in der Ruhe um 5° nach einwärts, das rechte normal, gerade nach vorn gerichtet. Wendet sich nun ein gleicher Willensimpuls behufs Fixation eines fernen Objectes der Rechtswendung beider Augen zu, sollen z. B beide Augen um 20° nach rechts gewendet werden, so folgen beide Augen diesem Impulse genau, aber wegen des gestörten Parallelismus zeigt blos das rechte Auge nun thatsächlich eine Aussenwendung um 20°, das linke aber, welches bereits ursprünglich um 5° nach rechts gerichtet war, zeigt eine Innenwendung von 25°. Soll in unserem Falle, wo der Schielwinkel des linken Auges 5° zeigt, ein nahes Object fixirt werden, und werden beide Adductorengruppen zu einer gleichen Convergenzbewegung von 20° innervirt, so muss offenbar das Resultat so ausfallen, dass die Blicklinie des linken Auges um 25° nach einwärts, die des rechten blos um 20° nach einwärts gerichtet erscheint.

Ganz ebenso lässt sich das Symptom der Concomitanz oder der secundären Ablenkung beim Schielen erklären. Wenn sich nämlich, während das gesunde Auge vom Sehacte excludirt wird, das um 5° einschielende Auge um 20° nach links bewegt, so wird seine Blicklinie schliesslich um 15° nach aussen stehen. In demselben Masse hat sich aber auch das rechte normal gestellte Auge unter der deckenden Hand um 20° nach innen bewegt, und seine Blicklinie muss daher schiesslich um 5° mehr nach innen stehen, als jene des linken nach aussen gewendet ist; d. h. der Schielwinkel hat sich auf das gesunde Auge übertragen und kommt daselbst zum Ausdruck, die sogenannte secundäre Ablenkung ist gleich excursiv, wie die primäre Ablenkung am kranken Auge. Doch gilt dies Letzere offenbar blos für den mittleren Theil des Gesichtsfeldes. Denn an den Grenzen desselben und

in der dem Schielen entgegengesetzten Richtung macht sich für das schielende Auge die Stellungsanomalie durch eine Beschränkung der Bewegung geltend ähnlich wie bei Muskelinsufficienzen, und es muss daher die Secundärablenkung des gesunden Auges an diesen Grenzen sogar noch einen grösseren Winkelwerth als das Schielen erreichen können. Das Gebiet der Bewegung ist also bei intacter Beweglichkeit nach der Seite des Schielens verschoben.

Dies sind entschieden die wichtigsten Symptome des sogenannten typisch concomitirenden Schielens, und sie erklären sich nicht aus einer Anomalie der Coordination, sondern *sie fordern sogar die intacte gleichförmige Innervation beider Augen*, sie haben mit einer vermehrten oder verminderten Coordination, mit Contractur oder Insufficienz der Muskeln gar Nichts zu thun, sondern resultiren ganz allein und nothwendig aus dem Stellungsfehler. Sowohl die associirte Parallelbewegung als die accommodative Convergenzbewegung sind also ursprünglich beim Schielen fehlerlos, nur gehen sie von geänderten Standpunkten aus.

Es unterliegt freilich keinem Zweifel, dass jene geänderten Standpunkte und die daraus resultirende Verschiebung des Bewegungsgebietes das Zustandekommen des binocularen Sehactes sehr wesentlich verhindern müssen, und daraus werden sich sodann Ausgleichsbestrebungen, Aenderungen in den Willensimpulsen entwickeln, welche ein sehr mannigfaltiges, wechselndes Bild von *Anomalien der Bewegungsinnervation* und ihrer Folgen selbst hervorrufen. Hieher gehören Contracturen der Muskeln nach der einen, Verlängerungen nach der anderen Seite, Insufficienzen, fehlerhafte Ablenkung, Missverhältniss der Convergenzbewegung und Accommodation, bei monocularem oder ungleichem Binocularschielen die Ausbildung eines seitlichen Blickraumes u. s. w. Aber all' dies sind *secundäre Symptome* und dürfen bei Bestimmung des *Wesens des* Schielens nicht in Betrachtung kommen.

Wir müssen allerdings die primären Schielformen von den secundären unterscheiden. Erstere begründen die geschilderte typische Form eines Stellungsfehlers, welche zu Bewegungsanomalien führt. Dagegen entwickelt sich der Stellungsfehler bei den secundaren Schielformen aus Bewegungsanomalien. Zu den letzteren gehören alle jene Strabismen, die sich aus optischen Ursachen, so wie aus Bewegungsstörungen durch Paralysen oder Contracturen der Muskeln entwickeln. Weil in diesen letzteren Fällen, selbst wenn die Stellungsanomalie sich bereits vollständig ausgebildet hat, in der Regel Reste der ursprünglichen Krankheit, wie Contracturen und Insufficienzen der Muskeln niedergradig zurückgeblieben sind, treten die Symptome des Schielens auch selten rein in die Erscheinung, aber sie sind doch mit geringen Einschränkungen immer nachweisbar. Wo dies nicht der Fall ist, wo z. B. die Beweglichkeit des Auges nach der dem Schielen entgegengesetzten Seite in Folge einer Paralyse sich nicht restituirt, kann eben von einer Entwickelung des Schielens aus einer Paralyse keine Rede sein, sondern es besteht die Paralyse fort.

Die Ursachen des typischen Schielens müssen in einem primaren Missverhältniss jener elastischen Kräfte gesucht werden, welche den Augapfel in seiner Lage halten. Dass hier das Missverhältniss der mittleren Muskellängen ebenso wie abnorme Insertion, Structursänderung, welche bereits Gräfe betont hat, ebenso wie allgemein abnorme Verbindungen des Bulbus mit seiner Umgebung in erster Reihe stehen, versteht sich von selbst. Ich habe in einem Falle von Strabismus convergens, welchen ich anatomisch untersuchte, die Verlängerung des Rectus externus thatsächlich constatiren können. Es ist dies wohl ein vereinzelter Fall und kam zudem bei einer hochgradigen Form des Schielens vor. Die pathologische Anatomie des Strabismus liegt eben noch im Argen, und wir müssen uns vor der Hand an die Symptomatologie und Aetiologie halten. Wie aber die Symptomatologie reiner Schielformen nothwendig in letzter Instanz auf eine

anatomische Stellungsstörung zurückführt, und diese lediglich durch die Bewegungsfehler maskirt wird, so sind schliesslich auch die secundaren Schielformen, obgleich sich bei ihnen in der Regel Bewegungsfehler implicirt zeigen, als Stellungsanomalien aufzufassen, da die oben erwähnten charakteristischen Erscheinungen auch bei ihnen hervortreten.

Zudem ist die Aetiologie dieser letzteren Formen denn doch noch nicht genügend aufgeklärt, und es ist sehr zu bezweifeln, ob sie alle wirklich als secundare Schielformen anzusehen sind, und ob wir es nicht bei manchen derselben eigentlich mit primaren Stellungsfehlern zu thun haben. Wenn es nämlich auch unbestritten ist, dass z. B. Hyperopie in mehr als 70% sich mit Strabismus convergens combinire, so ist noch immer fraglich, ob hier die Hyperopie zu Strabismus geführt habe, oder ob nicht b e i d e als ein angeborner Zustand nebeneinander gehen. Dagegen darf man nicht einwenden, dass die Erscheinungen des Strabismus bei Hyperopie sich in der Regel erst in der Lernperiode manifestiren, denn der Strabismus kann im niederen Grade lange vorhanden sein, ohne sich zu manifestiren. Dass alle Neugebornen und kleine Kinder mindestens zeitweilige Fehler der Blickrichtung gewöhnlich zeigen, ist bekannt. Strabismen können übrigens bei minimem Schielwinkel durch Muskelthätigkeit überwunden werden, und da ein Schielwinkel von 1° dem Bogen von $^{1}/_{5}{}^{mm}$ Ablenkung endspricht, können selbst Schielformen von 2—3° und mehr leicht übersehen werden, umsomehr als bei Kindern der Radius des Bulbus kleiner als bei Erwachsenen ist, und daher auch der Bogenwerth der Ablenkung bei gleichem Schielwinkel geringer ausfällt. Dazu kommt bei Kindern ein Umstand, auf welchen bereits J. Müller hingewiesen hat: der geringere Abstand ihrer Augen von einander, welcher sie auch zu geringeren Convergenzen nöthigt, wesshalb auch die Bewegungsstörung und die Combination des Ablenkungswinkels, durch welchen oft erst Schielformen manifest werden, bei ihnen sich nicht sofort aus der Stellungsanomalie entwickelt. Es folgt dies

aus dem Gesetze, dass der Werth der trigonometrischen Functionen abhängig ist von dem Werthe des Radius als Einheit, in unserem Falle von dem Werthe der Grundlinie. Mit dem zunehmenden Wachsthume der Kinder rücken die Augen immer mehr auseinander, der Werth der Grundlinie nimmt zu; zudem beginnt die Lernperiode und nun müssen sich in der That aus der häufigen und forcirten Convergenzbewegung bei Anspruchnahme der Accommodation für die Nähe die Erscheinungen der Schielstörung manifester entwickeln. Aus diesen Gründen entwickelt sich gerade das Einschielen in der Regel zu so hohen und lästigen Formen, während die anderen Formen des Schielens seltener auffallend hervortreten, und höchstens noch die zeitweilige Combination des Aussenschielens mit Myopie wegen höherem Convergenzbedürfniss und geringerer Anspruchnahme der Accommodation zu auffallenderem Hervortreten der Divergenz Veranlassung gibt. Wenn Donders aus dem Umstande, dass die Entwickelung des Strabismus bei Hyperopie nicht gleichen Schritt mit dem Grade der letzteren hält, genöthigt ist, noch andere Umstände herbeizuziehen, um jene Entwickelung zu erklären, namentlich auch auf die leichte Beweglichkeit der Augen nach innen ein grosses Gewicht legt, so scheint es, als ob diese leichte Beweglichkeit eben nichts Anderes bedeute als einen präexistenten Stellungsfehler niederen Grades, welcher allerdings durch fortdauernde forcirte Convergenz unter Vermittelung von begleitenden dauernden Ablenkungswinkeln progressiv werden kann, und es auch gewöhnlich in der Lernperiode thatsächlich wird.

Die Strabotomie, dies sei noch schliesslich erwähnt, feiert ihren Triumph in der Correction des Stellungsfehlers. Freilich muss sie sich mit der Herstellung des Mesoropters begnügen, und wird durch die Rücklagerung die der Beschränkung der Bewegungsamplitude äquivalente Beschränkung in der Leistung der muscularen Kräfte nicht gebessert, sondern lediglich eine Austauschung der Winkel dieser Beschränkung, eine Verlegung derselben von einer Seite auf die andere erreicht. Aber schon dies lehrt

uns evident, dass durch die Behebung des Stellungsfehlers die Harmonie der binocularen Bewegung um den Mesoropter herum, die gleichförmige Excursion des Auges nach beiden Seiten wieder hergestellt wurde, und nur die Beschränkung der Bewegungsamplitude zurückbleibt. Der Effect der Schieloperation ist also nicht lediglich ein kosmetischer, wie Stellwag annimmt, sondern wesentlich mit ein physiologischer. Implicirte Refractionsanomalien oder Herabsetzungen der Sehschärfe kann die Strabotomie allerdings nicht heben, sind sie aber nicht vorhanden, so muss durch die innerhalb gewisser Grenzen hergestellte Parallel- und Convergenzbewegung die binoculare Flächen- und Tiefenwahrnehmung wieder ermöglicht werden. Denn mit der Einstellung der beiden Blickpunkte auf ein Fixirobject sind alle Bedingungen des Binocularsehens gegeben, und ist die gründliche Störung des Orientirungsvermögens (welches ja nicht allein in dem Muskelgefühl, sondern in den beiden Netzhäuten zu suchen ist) behoben. Selbst aber angenommen, die Rücklagerung implicire eine Störung des Muskelgefühls und daher des Orientirungsvermögens, so muss, wenn, wie es gewöhnlich bei der Strabotomie geschieht, und auch sehr zu empfehlen ist, die Insertionen der gleichnamigen Muskeln an beiden Augen getrennt und rückgelagert werden, die Störung des Muskelgefühls auch an beiden Seiten nach der Operation eine gleichförmige sein. Thatsächlich erlangen sehr viele Kranke nach der Strabotomie die Fähigkeit wieder, binocular einfach zu sehen, natürlich vorausgesetzt, dass die Sehschärfe nicht dauernd erheblich gelitten hat, oder andere Störungen, wie Cornealtrübungen und ganz besonders beträchtlichere, uncorrigirbare Differenzen der Sehkraft beider Augen vorhanden sind.

Die Strabotomie selbst betreffend möchte ich hier noch erwähnen, dass ich in der Regel, und selbst bei niedergradigem Schielen die bilaterale Operation verrichte, weil ich nur dann einen vollständigen Effect durch das Verfahren erziele. Die Fälle, wo nach einseitiger Rücklagerung sofort oder später eine richtige binoculare Blickstellung zu Stande kommt, gehören zu den selten-

sten Ausnahmen, und man sollte deshalb bei jenen Kranken, welche nur die Operation eines Auges gestatten wollen, lieber von den Operation überhaupt abstehen.

Ich kann ferner nicht bestätigen, dass ich von der Dosirung der Operation irgend welche Erfolge gesehen habe. Immer durchschneide ich die ganze Sehne, möglichst mit einem Schnitte. Dagegen vermeide ich sorgfältig des Schlitzen der Scheidenhaut nach oben und unten oder in der Richtung des Horizontes.

Die Operation verrichte ich meist im Sitzen; nur bei sehr unwilligen Kindern, könnte die Rückenlage gewählt, auch chloroformirt werden. Es wird, wenn z. B. das rechte convergent schielende Auge zuerst operirt werden soll, das linke mit einem Tuche verbunden, und der Kranke ermahnt, nach rechts zu sehen, damit die Sehne des Rectus internus in die Lidspalte gelange. Der Gehilfe steht dabei hinter dem Kranken und hält beide Lider abgezogen. Künstliche Fixatoren der Lider und des Bulbus vermeide ich, und komme auch in der Regel durch freundliches Zureden besser und rascher zum Ziel, als mit Hilfe der für die Kranken so sehr empfindlichen Fixationsinstrumente. In dem Momente nun, wo das Auge günstig nach der dem Schielen entgegengesetzten Seite gerichtet ist, setze ich eine grössere Blömer'sche Pincette halbgeöffnet unmittelbar hinter der Insertionsstelle des Muskels fest an, und fasse damit gleichzeitig Conjunctiva und Muskel. Hierauf wird mit einer Hohlscheere sofort sowohl die Conjunctiva als gleichzeitig die Muskelinsertion getrennt. Ist der Muskel wirklich gefasst worden, was durchaus nothwendig ist und auch gewöhnlich gelingt, so ist damit die Operation beendet. Nur in seltenen Fällen bleibt ein peripheres Stückchen der Sehne ungetrennt, und dies namentlich in jenen Fällen, wo die Kranken das Auge nicht genau nach aussen, sondern nach oben aussen gerichtet hatten. Man muss dann in die Wunde mit Pincette oder stumpfem Hacken eingehen und die Abtrennung vollenden. — Dieses Verfahren empfiehlt sich durch seine Sicherheit und Raschheit für

das klinische Wirken, so wie für die Praxis, namentlich bei dem Umstande, dass es meist jugendliche, ängstliche Individuen sind, mit denen man es zu thun hat. Bei einigermassen willigen Kranken reichen 2—3 Secunden zur Vollendung der Operation an einem Auge hin, und ist der Eingriff kaum schmerzhaft zu nennen. — Ist ein Auge operirt, so wird sogleich zur Operation des zweiten geschritten. Das erst operirte wird verbunden, und das beschriebene Verfahren ganz ebenso am anderen wiederholt. Hierauf wird die geringe Blutung gestillt, und die Sehprobe gemacht. Eine vieljährige Erfahrung und die schönsten Erfolge dürften diesem einfachen Operativverfahren zur Empfehlung dienen!

In ähnlicher Weise wie für die Strabotomie habe ich für die Enucleation ein abgekürztes Verfahren eingeführt. Hier lassen sich freilich Chloroformnarkose und Fixationsinstrumente nicht wohl vermeiden. Ich verrichte jedoch diese Operation in der Chloroformnarkose in der Art von der üblichen Methode abweichend, dass ich stets vorerst die Sehne des Rectus internus ganz so wie oben beschrieben ablöse, und sodann mit den mässig gelüfteten Branchen einer Hohlscheere, deren Concavität gegen den Bulbus gerichtet ist, längs der Sclera in die Tiefe der Wunde eindringe, um den Nervus opticus zu trennen. Wenn der Bulbus mit einem spitzen Hacken oder Pincette nach aussen gewendet ist, so braucht man die Scheere höchstens 10^{mm} in die Tiefe zu führen, um zum Opticus zu gelangen und ihn knapp an seiner Einsenkung in den Bulbus abzulösen. Das Auge kann, wenn dies geschehen ist, sofort umgestürzt und aus der Scheide ausgehülst werden, worauf man mit wenigen Schnitten die Bindehaut und die Insertionen der fünf Muskeln ablöst. Die Blutung ist stets mässig und parenchymatös. Auch dieses Verfahren dürfte sich wegen seiner Nettigkeit und Kürze sehr empfehlen. In mehreren Fällen von sympathischer Ophthalmie habe ich blos die Durchschneidung des Opticus ohne Enucleation in dieser Weise ausgeführt, und stets eine rasche Wundheilung damit erzielt.

VI. Ein Kephalometer.

In der Abhandlung über die Statopathien des Auges (Prag 1869) habe ich nachgewiesen, wie wichtig es sei, die Projectionswerthe verschiedener Ebenen des Kopfes genau zu messen, indem nur hiedurch Grössen- und Lagenfehler exacter diagnosticirt werden können. Da Lagenfehler des Auges nicht selten mit Asymmetrie des Kopfskelettes einhergehen, wird es namentlich für den Ophthalmologen nicht allein nothwendig, die Lage des Auges für sich zu bestimmen, sondern es muss die Art und der Grad der Asymmetrie genau nachgewiesen werden. So lässt sich z. B. der Exophthalmus in zwei Formen unterscheiden, welche ich die exorbitale und die enorbitale Protrusion genannt habe. Bei der exorbitalen Protrusion, dem eigentlichen Exophthalmus wird nämlich der Augapfel durch ein Missverhältniss der Höhle und des Inhaltes aus der Orbita nach vorn verdrängt. Dagegen ist die enorbitale Protrusion die Folge einer Neigung der Frontalebene des ganzen Kopfes zur Sagittalebene, wodurch die eine Gesichtshälfte weiter nach vorn steht als die andere, also auch der Drehpunkt eines Auges, obzwar er seine normale Lage in der Orbita hat, doch mit dieser und der ganzen Gesichtshälfte weiter vorgeschoben erscheint als jener des anderen Auges.

Es unterliegt wohl kaum einem Zweifel, dass Asymmetrien des Kopfskelettes ganz besonders häufig vorkommen, und, wie ich nachgewiesen habe, die verschiedensten Lagenfehler der Augen bedingen, welche wieder eine exact

und strenge zu verfolgende Reihe von functionellen Anomalien, zunächst Fehler der Bewegung des Auges hervorrufen.

Seit Cohn (Messungen der Prominenz der Augen. Erlangen 1868) ein recht sinnreiches Exophthalmometer zuerst angegeben, hat man sich wesentlich mehr nur mit der Messung der exorbitalen Protrusion beschäftigt, und reichen die bisherigen Apparate zur gleichzeitigen Messung von Asymmetrien nur ungenügend hin. Ich habe zu diesem Zwecke (l. c. p. 10) allerdings ein Instrument angegeben, welches ich Orthometer nannte, und das auf dem Grundsatze der Messung der Projectionswerthe der drei Hauptebenen des Kopfes mittelst eines Visirapparates beruht, indem durch das in einem Doppelrahmen gespannte Gitter von Fäden, welche von einander gleichweit abstehen, nach dem Kopfe visirt wird. So genau auch die mit diesem Apparate zu erzielenden Projectionswerthe sind, so steht doch die Wahl der Projectionsebenen bei diesem Apparate auch nicht in unserem Belieben. Namentlich können wir Horizontalprojectionen des Kopfes mit demselben nicht beliebig messen.

Ich habe deshalb schon lange darüber nachgesonnen, wie Letzteres zu erreichen wäre, und es schwebte mir immer ein Apparat vor, welchen ich hie und da in Huthandlungen gesehen habe, und der zur Messung der Contouren des Kopfes dient, um darnach die Form des Hutes zu wählen. Dieser Apparat gibt sehr schöne Horizontalprojectionen, lässt sich aber wegen seiner Schwerfälligkeit und der Gewalt, mit der er auf die Oberfläche des Kopfes drückt, nur für die Messung der Partien, welche knöcherne Unterlagen besitzen, wie Stirne, Schläfe, Hinterhaut verwenden. Zu Horizontalprojectionen namentlich der Augengegend, welche für ophthalmologische Zwecke so nothwendig sind, so wie für noch tiefer gelegene Horizonte, musste daher ein anderes Princip der Construction gesucht werden. Ich glaube ein solches in dem folgend zu beschreibenden Apparate gefunden zu haben. Derselbe ist die Verbesserung eines ersten Modells, welches

ich in der Sitzung des hiesigen ärztlichen Vereins vom 25. October 1872 demonstrirt habe, das mir aber noch nicht handlich genug erschien, so dass ich es durch das nebenan abgebildete ersetzte, welches nunmehr, wie ich glaube, den Anforderungen an einen solchen Apparat ausreichend entspricht.

Ich möchte dieses Instrument Kephalometer nennen, und kann mich wohl auf eine oberflächliche Be-

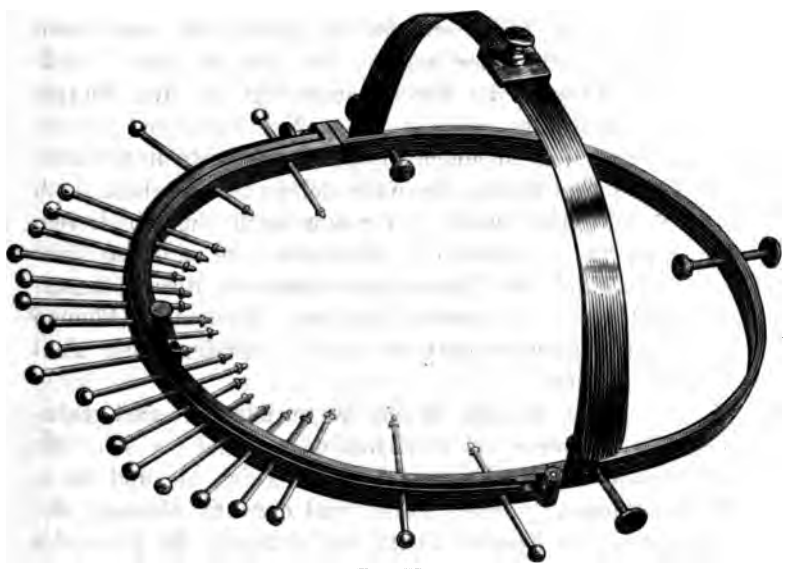


Fig. II.

schreibung desselben beschränken, da die Construction für den Einsichtigen aus dem einer Photographie entnommenen Holzschnitte leicht ersichtlich ist.

Das Ganze stellt eine Krone dar, bestehend aus Kranz und Bügel, und kann, auf den Kopf des Kranken gesetzt, durch Verlängerung oder Verkürzung des Bügels (welcher aus zwei Stahlfedern besteht, die ineinander verschiebbar sind und in jeder Verschiebung festgeschraubt werden können) der Kranz in jeder Horizontalebene des Kopfes um denselben angelegt werden.

Der Kranz stellt ein Oval dar, dessen grosser Durchmesser 220^{mm}, der kleine 170^{mm} beträgt und besteht aus zwei Bogen von Messing, einem für die Anlegung an den Hinterkopf und einem für den Vorderkopf, welche durch eine Charnier verbunden sind. Im hinteren Bogen sind drei kleine Pelotten, jede am Ende einer Mikrometerschraube, daher beliebig einstellbar, angebracht. Die hinterste dient zur Stütze des Hinterhauptes, die beiden seitlichen zur Anlegung an die Schläfe, und kann hiedurch der Apparat am Kopfe festgestellt werden. Er wird überdies mittelst des Bügels auf dem Scheitel fixirt, und kann für Augenmessungen in dem Winkel der beiden Ohrmuscheln ruhen.

Im vorderen Bogen sind 21 Messingstifte leicht verschiebbar angebracht. Im mittlersten Theile stehen 17 Stifte je 10^{mm} von einander, die 4 seitlichen sind in grössere Distanzen gestellt, so dass die beiden letzten die Richtung des Durchmessers eines Kreises, dessen Radius 85^{mm} beträgt, und dessen Peripherie die innere Fläche des vorderen Bogens entlang geht, repräsentiren. Alle 21 Stifte können gleichzeitig durch eine der vorderen Seite des Bogens enge anliegende Spange mittelst einer Schraube in jeder Lage fest eingestellt werden.

Die Handhabung dieses Apparates hat keinerlei Schwierigkeit, derselbe belästigt die Patienten nicht, und gibt ebenso rasche als exacte Resultate. Wenn der Kranz nämlich in eine bestimmte Horizontalebene des Kopfes eingestellt ist, schiebt man jeden Stift so weit nach innen, bis er die Oberfläche des Antlitzes sanft berührt. (Der mittelste Stift soll dabei immer möglichst genau in die Mittellinie des Gesichtes zu stehen kommen.) Hierauf werden die sämmtlichen Stifte mittelst der vordersten Schraube festgestellt, und der Apparat entweder durch Oeffnung der Charnier oder, wo es geht, auch einfach vom Kopfe abgenommen. Legt man denselben sodann auf ein Papier, so können die Contouren der Ebene, für welche er eingestellt war, sofort von jedem Ungeübten abgezeichnet werden, indem man die Lage jedes inneren Endpunktes der Stifte

über dem Papier daselbst mit einem Punkte markirt. Zeichnet man sich übrigens noch Durchmesser, Centrum und Peripherie des Kreises, welchen der vordere Reifen repräsentirt, so können alle Asymmetrien genau gemessen werden.

Es ist wohl leicht ersichtlich, dass der Apparat nebstdem zur Messung von Tumoren dient, und dass er auch eine erweitertere Anwendung finden kann, indem er auch zur Messung der Contouren von Geschwülsten an anderen Körpertheilen, namentlich an den Extremitäten dient. Befreit von dem Bügel wird man ihn auch bei Kindern zur Messung des Thorax verwenden können.

Wir haben in der Klinik bereits Asymmetrien, ferner Hornhautstaphylome, Exophthalmus, Epitheliome der Lider etc. mit dem Kephalometer gemessen. Derselbe ist nach meinen Angaben von dem Mechanicus Schuldes hier elegant verfertigt und beträgt der Preis 30 fl. Oe. W.

VII. Eine magnetische Pincette.

Ich kam vor zwei Jahren auf den Gedanken, bei in die Cornea eingedrungenen Eisensplittern die Vortheile der Wirkung des Magnetes mit jener von mechanischen Extractionsinstrumenten zu verbinden. Magnetisch gemachte Staarnadeln haben allerdings nur geringe magnetische Wirkung. Grösser ist dieselbe bereits bei Staarmessern, und noch grösser erscheint sie bei Pincetten. Deshalb liess ich eine Extractionspincette, welche zu diesem Zwecke in sehr zarte, an der Innenseite geriffte Spitzen ausläuft, magnetisch machen und verwende diese Zange seit langer Zeit in und ausserhalb der Klinik mit einigem Vortheil, indem entweder oberflächlich sitzende Fremdkörper schon bei Berührung der Pincette der magnetischen Wirkung folgen, oder doch Fremdkörper, welche mittelst der Staarnadel gehoben wurden, durch die Pincette leichter entfernt werden, da sich hier zwei Wirkungen, die magnetische und mechanische vereinigen.

Wer die Schwierigkeiten aus reicher Erfahrung kennt, welche dem Operateur bei der Empfindlichkeit von Augen, die Verletzungen von Fremdkörpern erfahren haben, oft aufstossen, wird auch diese kleine Verbesserung der Extractionsinstrumente nicht unterschätzen, daher diese kurze Mittheilung nicht für eine überflüssige ansehen.

VIII. Ueber Tatuage der Hornhautnarben.

Ueber Tätovirung der Hornhaut, welche von Becker empfohlen wurde, haben neuerlich Reuss, Rydel, Taylor u. a.. Beobachtungen publicirt, und hat dieselbe überhaupt bereits vielseitige Anwendung gefunden. Ich habe in der Sitzung des Prager ärztlichen Vereins vom 13. December 1872 einen bezüglichen Fall, ein Mädchen demonstrirt, bei welchem ich die Tatuage eines Leucoma adhaerens am rechten Auge mit Tuschfarbe gemacht habe. Ich konnte überhaupt bestätigen, dass das Operationsverfahren bei festen Narben ungefährlich sei, und dass es in solchen Fällen kaum nothwendig sein werde, eine Iridectomie vorherzuschicken, indem, wenn man mit einer in die Tuschfarbe getauchten Staarnadel seichte und schräge Einstiche macht, eine Reaction nicht wohl folgt. Bei der Discussion über diesen Gegenstand wurde namentlich die Frage erhoben, ob der Erfolg der Tätovirung ein dauernder sei, und die Färbung sich nicht mit der Zeit abschwäche oder gänzlich verschwinde.

Da die Tuschfarbe aus Lampenruss, daher Kohlenelementen besteht, welche auch sonst z. B. in Folge von Pulverexplosionen subcutan persistiren, wagte ich die Behauptung, dass die Tatuage dauernde Erfolge bieten werde, obgleich ich zugestehen musste, dass unsere bisherigen Beobachtungen an Cornealnarben sich erst auf einen viel zu kurzen Zeitraum erstrecken, um dies auch bei diesen positiv nachweisen zu können. Die günstigen Erfolge und die relative Ungefährlichkeit dieser kosmetischen Operation lassen aber dieselbe immerhin schon jetzt als

ein ganz nettes empfehlenswerthes Verfahren erscheinen, und ich sprach schliesslich die Ansicht aus, dass dieselbe noch insofern einer Vervollkommung fähig sei, als es möglich sein dürfte, **hiebei verschiedene Farben zu verwenden.** Namentlich sei es in manchen Fällen nothwendig, um die Farbe der Iris zu imitiren, mit blau, braun, roth, gelb, grün entweder für sich oder gleichzeitig bei demselben Individuum zu tätoviren. Ich habe auch sofort im December 1872 diesfällige Versuche angestellt, und zwar mit Zinnober (roth) und Schmalte (blau), welche vortrefflich gelungen sind und schöne dauernde Färbungen der Cornealnarbe präsentiren. Zur Grünfärbung hat mir Herr Prof. Lerch ferner das Chromoxyd, und zur Gelbfärbung das chromsaure Bleioxyd als festfärbig empfohlen, welche beiden Letzteren ich auch neuerlich zu verwenden Gelegenheit nahm. Doch sind die Versuche mit Chromoxyd (grün) nicht befriedigend ausgefallen, denn dasselbe haftete weder in der Verreibung mit Wasser noch in jener mit Leimwasser und Honig (ähnlich wie Deckfarben) an der Hornhaut, vielleicht aus dem Grunde, weil das vorliegende Präparat sehr grobkörnig war. Man wird die grüne Farbe übrigens entbehren können, und es dürften braun, gelb, roth und blau hinreichen, um alle Farben der Regenbogenhäute zu imitiren. Ich habe Zinnober, Schmalte, chromsaures Blei und Tuschfarbe, welche sämmtlich, blos mit Wasser angemacht, sich zur Tätovirung sehr gut eignen, in zahlreichen Punctionen untereinander gemengt auf der Cornealnarbe eines Mädchens, welches sich dermal in der Klinik befindet, aufgetragen, und die einzelnen Farben präsentiren sich sehr schön und rein. Im Centrum der Narbe wurde, um das Dunkel der Pupille nachzuahmen, blos mit Tuschfarbe tätovirt, an der Peripherie habe ich dagegen sämmtliche vier Präparate verwendet.

Nach diesen Versuchen kam mir Mitte Jänner 1873 ein Aufsatz von Reuss zu Gesicht, worin erwähnt wird, dass Taylor in Amerika zur Tätovirung der Cornea bereits Ultramarin und Sepia mit Erfolg verwendet habe. —

So mag sich denn unser Farbenkasten für diese Operation immerhin erweitern! Eine geschickte Hand wird dann in günstigen Fällen freie Auswahl haben. Möge man die Sache nur nicht als eine Spielerei ansehen und bald wieder bei Seite legen, denn es handelt sich hier thatsächlich um ein kosmetisches Verfahren, welches im Stande ist, einen sehr entstellenden Fehler des Auges zu maskiren, und damit die Berufstüchtigkeit mancher Menschen zu retten.

Ich habe diese kleine Operation anfangs mit einer gewöhnlichen Staarnadel verrichtet. Da die Farbe aber an diesem Instrumente schlecht haftet, und dasselbe für jede einzelne Punction immer neu in die Flüssigkeit eingetaucht werden muss, liess ich eine breite, nach der Fläche gebogene Staarnadel an der concaven Fläche mit einer bis an die Spitze reichenden Längsfurche versehen. Mit dieser „Tätovirnadel" wird die Farbe viel sicherer unter die Epithelialschichte eingeführt, und man hat ein völliges Abstreifen derselben nicht zu besorgen.

Inhalt.

Seite

Vorwort.

I. Sinnenleben und Sehen 1

II. Die Applicationsgesetze der monocularen Bewegung . . . 15

III. Theorie der parallelen Blicklinien 24

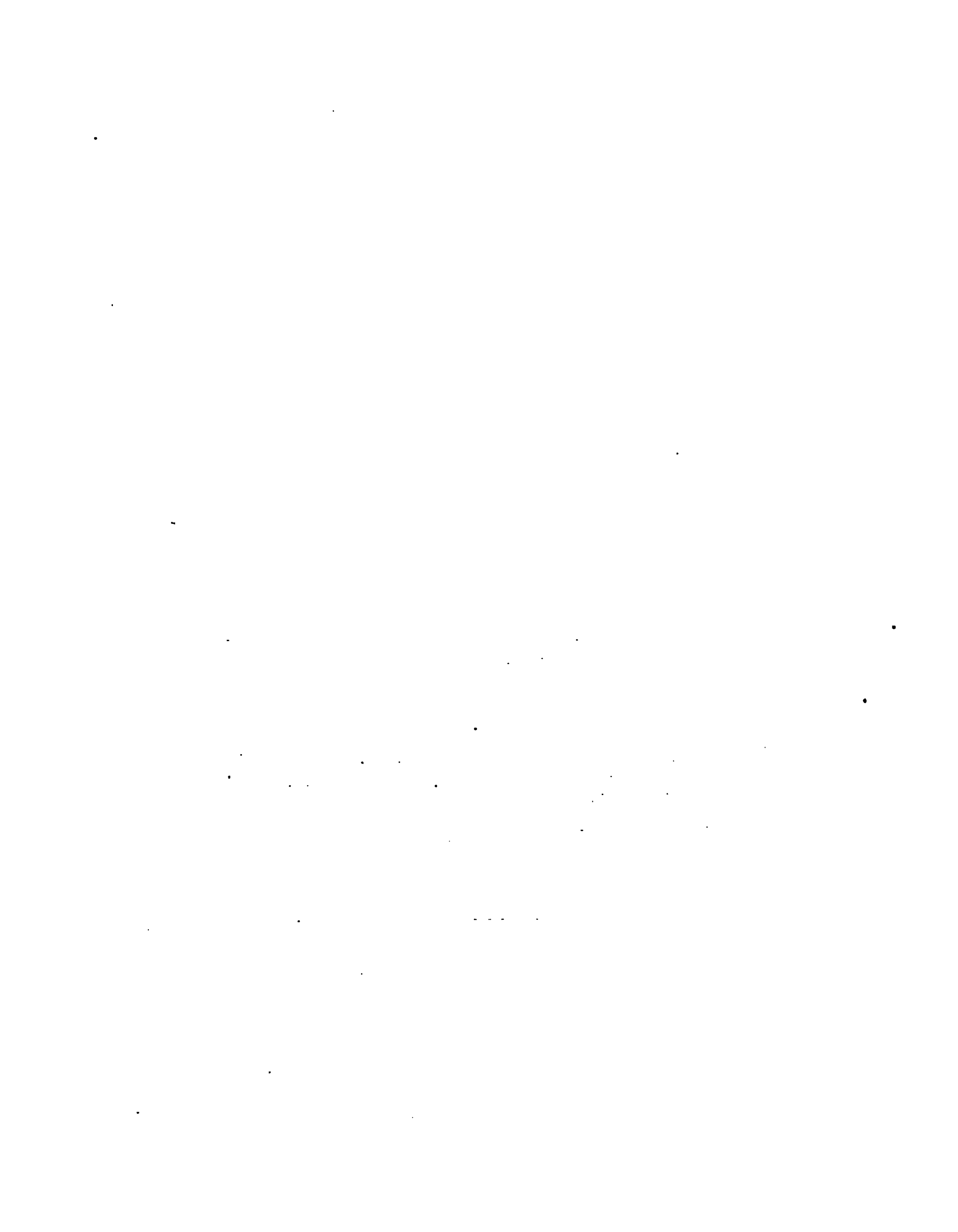
IV. Die reciproken Netzhäute und das Tiefensehen 40

V. Die Theorie des Schielens, Strabotomie und Enucleation des Auges 57

VI. Ein Kephalometer 74

VII. Die magnetische Pincette 79

VIII. Ueber Tatuage der Hornhaut 80



KLINISCHE VORTRÄGE

über

AUGENHEILKUNDE

von

Dr. Josef Ritter von Hasner,

ord. Professor der Augenheilkunde an der Universität Prag.

I. Abtheilung.

Krankheiten der Sklera, des Augapfels, Brillenlehre und Ophthalmoskopie.

Prag, 1860.

F. A. Credner.

K. k. Hof-, Buch- und Kunsthändler.

Druck der k. k. Hofbuchdruckerei von Gottlieb Haase Sohne.

Vorwort.

Die raschen Fortschritte, welche die Ophthalmologie in neuerer Zeit bei sorgfältigerer Berücksichtigung ihrer wichtigsten Grundlagen, der feineren Anatomie und physiologischen Optik gemacht hat und noch immer macht, erschweren ein erschöpfendes Studium dieses schönsten Zweiges der Medizin auch mit jedem Tage mehr. Der Oculist sollte gegenwärtig ebenso exacter Mathematiker, Physiker, Mikroskopiker, Zeichner, als Ophthalmoskopiker, Operateur und — sonst ein tüchtiger Arzt sein. Es ist leicht ersichtlich, dass bei diesen Anforderungen sich auch der Unterricht in der Augenheilkunde nur immer schwieriger gestaltet. Der Kliniker hat nicht allein die Aufgabe, ein lebendiges und klares Bild der gesammten Disciplin in engerem Rahmen zu entwerfen, hiedurch das Interesse für dieselbe anzuregen, und die raschere Orientirung zu ermöglichen; sondern er soll den Mediziner auch in alle Details des Gegenstandes einführen, damit er in der kürzesten Zeit die für seine praktische Laufbahn nöthige Routine gewinne. Wo ist da bei dem grossen Umfange der Hilfsmittel zu beginnen, wie vorzugehen, wie das rechte Mass

zu finden? Solche Fragen müssen den Kliniker immer neu und ernst beschäftigen, denn wenn auch dem eigenen Fleisse und dem praktischen Leben viel überlassen bleiben muss und die volle Ausbildung selbstverständlich in der Schule nie erreicht werden kann: so sind dagegen die Vortheile eines lebendigen, klaren und masshaltenden Unterrichtes auch unbestritten, und es muss des Klinikers vorzügliches Bestreben sein, dieses Ziel zu erreichen; es muss eine Methode gesucht werden, um die Fülle des Stoffes auch in kürzerer Zeit so zu bewältigen, dass dem strebsamen Anfänger auf seinem ferneren Wege doch mindestens nichts völlig Fremdes aufstossen kann, er überall sich zurecht zu finden vermag.

Die vorliegende Schrift ist der Inhalt der systematischen Vorträge, welche der Verfasser am prager oculistischen Klinikum zu halten pflegt. Es ist darin der Versuch gemacht, die gesammte Ophthalmologie in gedrängter Kürze, aber auch mit Berücksichtigung Alles dessen, was dem Arzte aus der Theorie und Praxis zu wissen nöthig ist, zu behandeln. Der Verfasser gibt sich dem Wahne durchaus nicht hin, die Schwierigkeiten einer solchen Arbeit thatsächlich überwunden zu haben. Es handelt sich eben um den Versuch, aus dem Mittelpunkte eines wissenschaftlichen Strebens das Bild der Resultate unserer Doctrin zusammt den sich herandrängenden, der Lösung harrenden Problemen, möglichst bündig und fasslich, wie es für Anfänger nothwendig ist, zu entwerfen. — Die anatomische Anordnung wurde festgehalten, und die theoretischen oder propädeutischen Lehren sind überall da eingeschaltet, wo ihre praktische Bedeutung dem an der Hand der Anatomie Fortschreitenden zuerst augenscheinlich entgegentritt. Daher ist z. B. die Brillenlehre und das Ophthal-

moskop in dem Abschnitte der Skleralkrankheiten beim Staphyloma posticum abgehandelt. — Der Erzählung von Krankengeschichten ist ein sehr beschränkter Raum gestattet. Seltene Fälle wurden nur mit ein paar Worten skizzirt, denn es scheint, dass die detaillirte Beschreibung von Krankheitsfällen anderswohin gehört als in ein Lehrbuch. Dagegen wurden Illustrationen, deren hoher Werth beim Unterrichte unbestritten ist, dem Texte beigegeben. Es sind diess theils schematische Figuren, wie sie beim Vortrage an der Tafel entworfen werden, theils mikroskopische und ophthalmoskopische Befunde. Hiezu dürfte der Holzschnitt ausreichen. Was er nicht gibt, muss die eigene Untersuchung, die lebendige Forschung geben. Das Bild hat nur den Zweck, sie zu unterstützen, nicht aber sie zu ersetzen.

Der schwierigen Stellung jeder schriftstellerischen Arbeit und daher auch der vorliegenden zur gleichzeitigen Literatur ist sich der Verfasser wohl bewusst. Die literarische Arena gleicht einer grossen freien Versammlung, in welcher, wenn sie gedeihen soll, namentlich die strengste Rücksicht walten muss. Jede Stimme ist hier berechtigt, ja alle jene müssen gehört werden, welche zur Förderung der Wissenschaft irgend welchen Beitrag liefern. Der Verfasser war bemüht, jeder bedeutenderen Leistung gerecht zu werden; aber ein Lehrbuch kann kein Sammel- und Quellenwerk sein; deshalb wird man hier die erschöpfende Anführung jeder literarischen Erscheinung nicht fordern. Es ist jedoch die geschichtliche Entwikelung der wichtigeren Lehren, Methoden u. a. skizzirt, und hoffentlich wird man der Arbeit das Zeugniss nicht versagen, dass, obgleich die eigenen Ansichten und Erfahrungen überall offen und entschieden ausgesprochen sind, auch die fremden

ohne Vorurtheil, Sympathien und Antipathien berücksichtigt, und selbst widerstreitende Prinzipien nicht mit jener kecken Schonungslosigkeit bekämpft werden, welche die wissenschaftliche Polemik nur zu häufig verunziert. Der Verfasser hat hier sogar dem erklärlichen Drange nicht nachgeben wollen, auf manchen gegen ihn selbst erhobenen Streit speciell einzugehen. Es gibt eine Art Polemik, auf welche keine andere Antwort möglich ist, als die einfache Erörterung des Gegenstandes selbst. — Nachsicht muss ja doch Jedermann für sich in Anspruch nehmen; und so auch die vorliegende Arbeit, denn es gilt heute noch des ältesten ärztlichen Schriftstellers erste Thesis: Vita brevis, ars vero longa: sed occasio momentosa, empirica periclitatio periculosa, judicium difficile.

Prag am 14. Juli 1860.

I.

Abtheilung.

Krankheiten der Sklera, des Augapfels, Brillenlehre und Ophthalmoskopie.



§. 1. Das menschliche Auge ist ein organisch-physikalischer Apparat, welcher die Bestimmung hat, mittelst eines Systems kollektiver Medien ein reelles Bild der Objecte auf der Flächenausbreitung des Sehnerven zu entwerfen, und den Eindruck dieses Bildes durch den Leitungsfaden des optischen Nerven dem Bewustsein zuzuführen.

Das Licht übt überall, wohin es gelangt, einen Einfluss aus. Man sagt daher auch mit Recht im Allgemeinen: Alles empfinde den Einfluss des Lichtes. Lichtempfindung im höheren, strengeren Sinne ist aber zunächst an das Nervensystem der Thiere gebunden; ja sie erfordert eine spezifische Beschaffenheit des Nerven nicht allein, sondern auch specifischen Bau des Organs, in welches dieser Nerve gebettet ist. Die erste Andeutung eines lichtempfindenden Organes finden wir in den Pigmentanhäufungen auf den Nervencentren oder den Nervenenden bei manchen Evertebraten (Echinodermen, Rotatorien, Krebsen). Diese Organe scheinen aber lediglich zum deutlicheren Erkennen von Licht und Dunkel zu dienen.

Zum objektiven, gegenständlichen Sehen bedarf es einer physikalischen Vorrichtung, welche das von den leuchtenden Elementen eines Objektes ausströmende Licht auf die Flächenausbreitung eines Nerven leitet, und daselbst ein ähnliches Bild (dasselbe Nebeneinander der leuchtenden Elemente) des Objectes entwirft. Die Fläche des Nerven selbst, welche von dem Bilde getroffen wird, muss aus einer Reihe individuell empfindender, gesonderter Elemente bestehen, von denen jedes nicht allein die Qualitäten des Lichtes aufzufassen vermag, sondern auch, da es in einem bestimmten Abstande von einem Normalpunkte (dem Durchschnittspunkte eines rechtwinkeligen Coordinatensystems) auf der Nervenfläche sich befindet, den Eindruck dieses

Abstandes dem Centralorgane zuführen. Nur so ist ein Flächensehen, eine Flächenberechnung durch ein Auge in der That möglich. Die Doppelung des Auges, und dadurch eine gleichzeitige Vergleichung zweier in verschiedenen Abständen gleichzeitig projicirter, differenter Flächenbilder führt sodann zu einem höheren Acte des Sehvorganges, zur Tiefenempfindung.

In Bezug auf den Bau der empfindenden Nervenhaut und die lichtbrechenden Organe zeigt das Auge der Thiere grosse Mannigfaltigkeit; ein einheitlicher Grundtypus ist jedoch überall erkennbar. Ein Unterschied von „einfachen" und „zusammengesetzten" Augen scheint nicht zulässig, indem die Retina sowohl der Wirbelthiere als Evertebraten aus musivisch geordneten, stabförmigen Elementartheilen besteht, welche zunächst zur Auffassung des Bildes dienen und auch die lichtbrechenden Organe die Thierreihen hindurch bei aller Verschiedenheit der äussern Form doch keinen andern Zweck haben als den der Leitung des Lichtes auf die Elementartheile der Nervenhaut. Im vollsten Masse leisten diess Letztere freilich nur die nach dem Prinzipe der Dunkelkammer construirten Augen mit einer kollektiven Linse, welche die von einem Punkte des Objectes ausgehenden Strahlen wieder nahe in einem Punkte vereinigt.

Das menschliche Auge besteht:

a. aus dem Augapfel, welcher in einer sphäroiden häutigen Kapsel den Lichtbrechungs-, Blendungs- und Empfindungsapparat enthält;

b. aus den Schutz- und Hilfsorganen des Augapfels, den Augenmuskeln, dem Befeuchtungsapparate, den Lidern, und der Augenhöhle.

Vom Augapfel.

§. 2. Der Augapfel (bulbus) besteht:

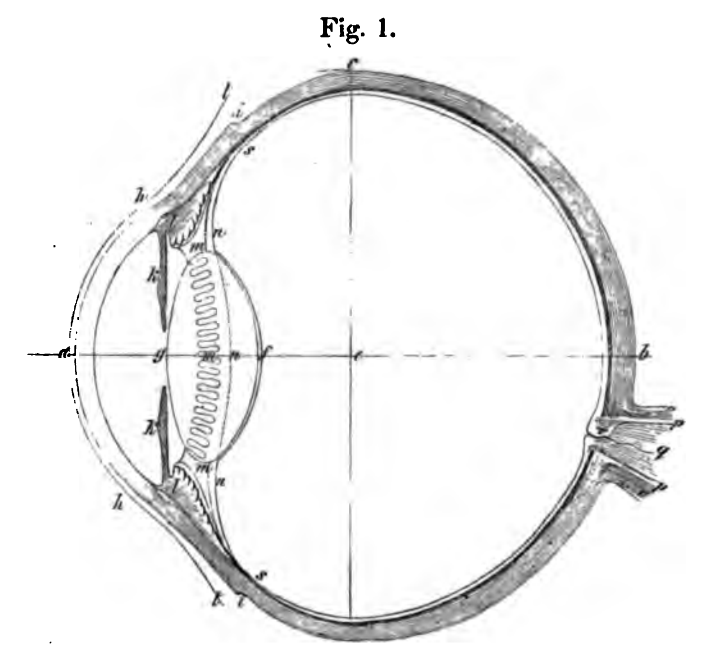
a. aus der häutigen Kapsel, welche zum grösseren Theile undurchsichtig — Sklera — zum kleineren Theile durchsichtig — Hornhaut — ist.

b. Dem lichtbrechenden Apparate: Hornhaut und Kammerwasser, Linsensystem und Glaskörper.

c. Dem Gefäss- und Blendungsapparate (uvea), bestehend aus der Aderhaut, dem Ciliarkörper und der Regenbogenhaut.

d. Dem lichtempfindenden Apparate, bestehend aus der Netzhaut, *dem optischen* Nerven und den Centraltheilen der Lichtempfindung.

Fig. 1.



Durchschnitt des Augapfels, 3mal vergrössert. *a h h* Cornea, *h i b c i* Sklera, *e* Drehpunkt, *g f* Linse, *k k* Iris, *l l* Ciliarkörper, *m m m* zonula Zinnii, *n* hinteres Aufhängeband, *o o* äussere Scheide des Opticus, *p p* innere Scheide, *q* Nervenbündel des Opticus, *r* lamina cribrosa, *s s* ora serrata retinae, *t t* Conjunctiva.

Die häutige Kapsel des Sehorgans.

A. Die Sklera.

§. 3. Die Sklera (sclerotica, albuginea, cornea opaca, Lederhaut, weisse Haut), welche mit der Cornea die häutige Kapsel des Sehorgans bildet, nimmt nahe 0,8 der Oberfläche des Auges ein. Sie geht nach vorne in die Cornea unmittelbar über. Nach hinten wird sie von dem optischen Nerven durchbohrt. Die äussere Scheide dieses Nerven ist mit der Sklera fest verwachsen. Von der inneren Scheide zieht sich ein bindegewebiges Gitter (lamina cribrosa, cribrum sclerae) über das Loch der Sclerotica, durch dessen Oeffnungen die Nervenbündel des Opticus, so wie die arteria und vena centralis retinae treten. Das Centrum der Eintrittsstelle des Sehnerven liegt 3—4 Millim. von der optischen Axe nach innen. An der inneren Fläche ist die Sklera mit der Chorioidea durch zartes Bindegewebe, welches besonders rückwärts einzelne Pigmentzellen enthält (lamina fusca), so wie durch die Ciliargefässe und Nerven, welche sie durchbohren und in die Chorioidea eintreten, verbunden. Die kurzen Ciliarnerven und

die hinteren kurzen Ciliararterien und Venen treten theils gerade im hinteren Pole, theils um den Sehnerven und auch weiter von ihm entfernt durch die Sklera, mehrere davon sehr schräg in derselben eine Strecke verlaufend. Einige grössere Gefässstämme dringen in der Gegend des Aequators in das Auge ein; die vordern kurzen Stämme aber in grosser Zahl im vordern Umfange. Mit der Sehne des Ciliarmuskels (ligamentum ciliare) ist sie fest verwachsen. Hier an der Uebergangsstelle der Sklera in die Cornea befindet sich eine Rinne, welche nach hinten von der Sehne des Ciliarmuskels geschlossen, und dadurch in einen ringförmigen Kanal (Canalis Schlemmii) umgewandelt wird. Die Bedeutnng des Schlemm'schen Kanals als venöser Sinus für die Ableitung des Blutes aus den vordern Theilen der Uvea ist, wenn auch nicht ausgemacht, doch wahrscheinlich, da er mit den vorderen Ciliarvenen zusammenhängt.

Nach aussen hängt die Sklera mit den fächerförmig ausgebreiteten Sehnen der sechs Augenmuskeln, die an den Insertionstellen zu ihrer Verstärkung beitragen, zusammen. Ferner geht von ihrer äusseren Fläche ein, im Aequator und hinteren Umfange sehr lockeres, am vorderen Umfange dichteres Bindegewebe aus, und verbindet die Sklera theils mit der Scheidenhaut des Auges, theils mit dem Subconjuctivalgewebe. Es enthält dieses Bindegewebe zahlreiche Blutgefässe, Zweige der Ciliargefässe und Capillaren; seine hohe pathologische Dignität rechtfertigt Stellwag's Bezeichnung desselben als eigene Schicht unter dem Namen Episkleralgewebe.

Die Dicke der Sklera fand ich im Mittel (unterm Mikroskope bei 50 Magn. bestimmt):

am hintern Pole	0,974	Millim.
von da 30° nach vorwärts	0,771	„
„ „ 60° „ „	0,659	„
„ „ 90° „ „ (im Aequator)	0,487	„
hinter der Insertion der recti	0,668	„
an der Insertion der recti	0,933	„
zwischen Cornea und den rectis . . .	0,730	„
am Hornhautrande	0,893	„
(ferner die Mitte der Cornea)	0,730	„

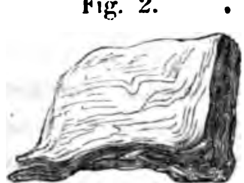
Die mittlere Dicke der Sklera bestimmt sich demnach mit 0,750 Millim.; man wird dieselbe am hintern Pol ohne wesentlichem Fehler mit 1 Millim., im Aequator mit 0,5 Millim., was zugleich ihre grösste und *kleinste Dicke gibt,* für Fälle der Norm annehmen können. An der

Insertion der recti erreicht die Sklera nahe gleiche Dicke wie am Pol, und ändert diesen Werth bis zum Hornhautrande nur wenig.

Die Sklera ist undurchsichtig, weiss, sehr derb, wenig dehnbar, jedenfalls sehr gefässarm. (Die ihr eigenthümlichen Gefässe sollen aus den hinteren Ciliararterien kommen, und ein weitmaschiges Netz von Capillaren letzter Ordnung bilden. Huschke, Brücke.) Nerven, Seitenäste der nervi ciliares, welche an der Innenfläche der Sklera abgehen, und in der lamina fusca zarte, zum Theil in Furchen an der inneren Fläche eingesenkte Netze bilden, beschreibt Bochdalek.

Die Sklera besteht aus gewöhnlichem, dichtem lamellärem Bindegewebe, dessen Lamellen concentrisch geschichtet, und im Leben gespannt sind. Einzelne Lamellen gehen in andere nachbarliche über; aber die Wellenform, Kräuselung und Knikung derselben ist im höheren Grade wohl mehr eine Folge der Präparation und Schrumpfung nach dem Tode. Durchsetzt wird das Bindegewebe von einem Netze elastischer Fasern. Ernährungskanäle, mit Flüssigkeit gefüllt, sind sehr zweifelhaft. — Beim Kochen gibt das Skleralgewebe Leim. Durch ihre Structur und physiologisches Verhalten steht sie dem Sehnengewebe am nächsten. Ihr Gewebe widersteht beträchtlicher allmälig dehnender Gewalt, aber nicht leicht plötzlicher Einwirkung derselben; sie ist unempfindlich, arm an Ernährungsflüssigkeit; ihr Stoffwechsel gering, und scheint zunächst durch Imbibition aus dem Episkleralgewebe, der lamina fusca, und den sie durchbohrenden Ciliargefässen vermittelt zu werden. Gewebserkrankungen sind selten; aber im Gefolge von allmäliger Lokerung und mehrerer Durchtränkung des Gewebes können alle pathologischen Veränderungen, welche dem Bindegewebe zukommen, daselbst auftreten.

Fig. 2.

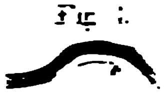


Ein Flächenschnitt der Sklera an den Rändern den dicht lamellösen Bau darstellend. Magn. 400.

Die Sklera ist das Skelett des Auges; sie bedingt die Form desselben, dient den Augenmuskeln zum Ansatze, lässt Gefässe und Nerven hindurchtreten, schliesst den flüssigen Inhalt ein, und sichert überhaupt die Lage der Innen-Organe des Bulbus.

Die Sklera entwikelt sich aus der allgemeinen Gesichtsfötalhaut, aus welcher sie nach rückwärts gegen die Hirnblase hervorwächst, um sich endlich mit der Scheide des optischen Nerven zu vereinigen. Ehe diese Vereinigung zu Stande gekommen ist, communicirt die Augenblase mit der Hirnblase, erfüllt von dem Hirnwasser, durch eine An-

Fig. 1.



[illegible]

[illegible] Vereinigung mit dem optischen Nerven sich zu einer die untere und innere Gegend einnehmenden Spalte [illegible] endlichen Verschlusse [illegible] einige Zeit im [illegible] Theile der Sclera eine von der [illegible] zur [illegible] Linie zurücklässt.

§. 4. [illegible]

Wir kommen bei den Krankheiten der Sclera Veranlassung einige Krankheiten zu besprechen, welche dieser Membran nicht für sich zukommen, sondern das ganze Auge betreffen. Da die Sclera die Form des ganzen Bulbus bedingt, sind wohl auch die Krankheiten der Form und Bildung des Auges hier am rechten Platze.

Anophthalmus [illegible] Augenmangel.* Hier fehlt entweder jede Spur der Entwickelung des Auges und somit auch der Sehnerven wegen mangelnder Entwickelung der Augenblase [illegible] oder der Augapfel ist rudimentär entwickelt, und durch ein meist blos erbsengrosses Knötchen repräsentirt, welches aus dichtem Bindegewebe besteht, das mitunter im Inneren einige Pigmentzellen enthält. Die Entwickelung des Auges hat auch in letzteren Fällen offenbar in der ersten Fötalperiode eine Störung erlitten, und die Anlage der Bulbusorgane wurde so vollständig gehemmt, dass solche Fälle nicht der Mikrophthalmie, sondern dem Anophthalmus zugezählt werden müssen.

Der Anophthalmus betrifft entweder beide Augen oder nur eines. Fehlen eines Auges bei Vorhandensein des anderen begründet den wahren Monophthalmus. Es muss dabei das vorhandene Auge in der normalen seitlichen Lage sein, zum Unterschiede von dem cyklopischen Monophthalmus, wo das Auge sich in der Mittellinie befindet. Beim Anophthalmus ist [illegible] die Entwickelung der Hilfsorgane des Auges gehemmt. [illegible]

---

* [illegible] Handbuch d. path. Anat. des menschl. Auges. Hamburg 18[illegible]. — [illegible] Bildungsfehler der Augen. Dresden 18[illegible].

vorhanden. Es resultirt daraus das wichtige Entwikelungsgesetz: die Adnexen des Auges können sich ganz unabhängig von diesem entwikeln.

Es kommen ferner mit dem Anophthalmus manchmal andere Bildungsfehler vor; Fehlen der Stirne, des Mundes, Hasen- und Rachenspalte, Fehlen der Finger, Uiberzahl etc. Selbstverständlich fehlt das Auge beim Acephalus, Perocephalus, Aprosopus. Der Anophthalmus kann aber auch für sich bestehen, und das betreffende Individuum sonst zu vollkommener körperlicher und geistiger Entwikelung gelangen, wofür die Blindeninstitute genug Belege liefern.

Die Physiognomie bei Anophthalmus ist unschön, namentlich wegen der meist sehr engen Lidspalte, dem tiefen Zurüksinken der Lider in die Orbita, und dem paralytischen Gesichtsausdruke, der eine Folge der geringen Entwikelung der Gesichtsmuskeln ist.

Augenmangel bedingt absolute Blindheit. Wenn Fälle erwähnt werden, welche Lichtempfindung hatten, so sind diese wohl nicht hierher zu zählen, sondern gehören jenen der Mikrophthalmie oder Phthisis bulbi congenita an, wobei die Netzhaut nicht völlig destruirt war Die Unterscheidung letzterer Fälle vom Anophthalmus ist im Leben freilich nicht immer leicht.

Bei Thieren, namentlich Schafen, Hunden, Katzen wird Anophthalmus öfter beobachtet; bei Menschen sind mehre Kinder einer Familie daran leidend gesehen worden. Von Erblichkeit dieses Fehlers ist noch kein Fall bekannt.

§. 5. Cyklopie (κυκλωψ, rundäugig). Hier sind die beiden Augen gänzlich oder theilweise zum Monophthalmus verschmolzen, ein Fehler, welcher wohl stets seine nächste Quelle in einer gestörten Entwikelung des beide Augen trennenden Geruchsorganes hat. Diese beruht auf Bildungshemmung der vordersten primitiven Hirnzelle, wodurch in der Regel die Entwikelung des Siebbeines, der Nasenbeine, Thränenbeine, Muscheln, Pflugschar, Zwischenkiefer, oft auch der Oberkiefer, Gaumenbeine, Flügelfortsätze etc. gehemmt wird. Die Vorderlappen des Gehirnes sind immer mangelhaft (Rokitansky). Die Nase fehlt entweder gänzlich, oder ist meist durch einen

Fig. 4.

Cyklopie des ersten Grades. *a* der rüsselförmige Fortsatz. — Man sieht in der offen stehenden Lidspalte das monopthalmische Auge mit doppelter Cornea und Iris.

Fig. 5.

Ein cyklopischer Bulbus in der Profilansicht mit doppelter Cornea.

rüsselförmigen, freien, unterwärts offenen Hautfortsatz über den Augen angeheftet.

Die Verschmelzung der Augen zeigt verschiedene Grade. Im ersten sind die beiden Augen in einer, die Mitte des Gesichts einnehmenden Orbita noch nicht so weit verschmolzen, dass man die Doppelung des Organes nicht nachweisen könnte. Es sitzen die beiden Bulbi wie zwei Beeren auf einem Stiele, auf einem gemeinsamen Nerven; oder sie sind bereits mehr weniger verschmolzen, und die Verschmelzungsstelle durch eine Rinne oder Furche angedeutet. Dabei sind auch die inneren Organe, z. B. Linse, Glaskörper gedoppelt. Der Bulbus ist gewöhnlich in seinen Durchmessern vergrössert; die Lidspalte hat meist eine rhomboidale Gestalt.

Im zweiten Grade der vollkommenen Cyklopie liegt ein in seinen Theilen einfacher Augapfel in der einfachen Orbita, und mit dieser in der Mittellinie. Die Verschmelzung der Augen ist mehr nur durch die rhomboidale Gestalt der Lidspalte angedeutet, die 4 Augenlider erkennen lässt.

Im dritten Grade geht die Verschmelzung mit einer kümmerlichen Entwickelung des Auges einher. Der cyklopische Bulbus ist entweder mikrophthalmisch, oder es geht der Bildungsfehler sogar in die cyklopische Anophthalmie über, d. h. der Bulbus fehlt in der einfachen Orbita. Dabei ist auch die Lidspalte sehr verengert, meist nur eine schmale, unter dem rüsselförmigen Fortsatze liegende Spalte darstellend. Die Mehrzahl der Cyklopen bei Menschen, welche ich gesehen, zeigte regelmässige Entwickelung des übrigen Körpers. Doch können sich die verschiedensten Bildungsfehler combiniren. So hatte ich Gelegenheit, einen Fall von Cyklopie des ersten Grades mit Syrenenbildung bei Menschen genauer zu untersuchen. Man findet ferner Spina bifida, Nabelbrüche, uterus bicornis, Verschmelzung der Nieren. Bei Thieren scheinen Monstrositäten der verschiedensten Art sich mit Cyklopie häufiger zu combiniren. Cyklopen sind im Allgemeinen nicht lebensfähig (Schultze (a. a. O. pag. 6) sagt, es sei nur ein Fall bekannt, wo ein Cyklope männlichen Geschlechtes 10 Monate alt wurde.) Die Ursache ist wohl theilweise in der gewöhnlich mangelhaften Entwickelung des Gehirnes, oder in dem sonst häufig combinirten Hydrocephalus zu suchen.

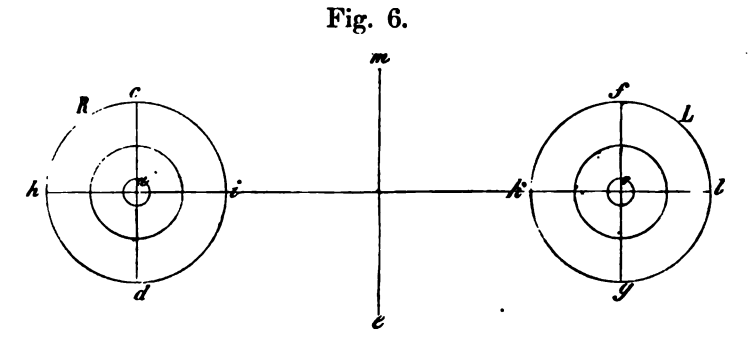
§. 6. Mehrzahl der Augen. **Man hat drei und vier Augen an einem einfachen Kopfe beobachtet. In beiden Fällen ist die Mehrzahl** *der Augen* **das Resultat einer Verschmelzung zweier Köpfe.** (Doppel-

köpfige Missgeburten, d. h. zwei Köpfe auf einem Rumpfe, oder aufeinander, und damit selbstverständlich auch vier Augen, kommen gleichfalls vor.) Bei der Dreiäugigkeit ist das mittlere Auge wohl immer ein cyklopisches, aber mit dem Unterschiede, dass die beiden Augen sich einander von der äusseren Seite her genähert haben, und daher auch ein Nasenmangel bei diesem Bildungsfehler nicht beobachtet werden muss. Bei der Vieräugigkeit stehen die beiden inneren Augen entweder dicht an einander, oder selbst in einer Orbita

Es sind mehrere Fälle bekannt, wo Individuen mit 3 und 4 Augen länger gelebt haben. Höchst interessant ist ein Fall von Danyau (s. W. Mackenzie's Augenkrankheiten, in der schätzbaren französischen Uebersetzung und Bearbeitung von E. Warlomont und A. Testelin. Paris, 1857, wo die Entwikelungsfehler des Auges von Dr. Ed. Cornaz erschöpfend geschildert werden) bei einer Frau von 22 Jahren mit wohlgebildetem Schädel, drei Augen, davon das mittlere in der glabella frontis, zwei Reihen Zähne in jedem Kiefer und zwei Nasen, von denen aber jede nur ein Nasenloch hatte, und unterhalb je einem seitlichen Auge sass. (?) Die 3 Augen sollen vollkommen functionirt haben. (Leider fehlt eine nähere Untersuchung dieses Trioculársehens!) Die Frau liess sich das mittlere Auge von einem Charlatane exstirpiren.

§. 7. Fehlerhafte Lage der Augen. Die beiden Augen stehen normal in bestimmter Entfernung von einander. Die Abstandslinie der Drehpunkte beider Augen beträgt ziemlich constant $2^1/_2$ Zoll (genauer 62—65 Millim.) und ist horizontal gestellt. Die Medianebene des Gesichtes wird von einer durch die Abstandslinie gelegten horizontalen und senkrechten Ebene rechtwinkelig geschnitten.

Fig. 6.



m e die Medianlinie des Gesichtes, *R* das rechte, *L* das linke Auge, *a o* die Abstandslinie der Drehpunkte, *c d* und *g f* die senkrechten Meridiane der beiden Augen. *k i* und *k l* die horizontalen Meridiane.

Die Abstandslinie der Drehpunkte lässt sich durch ein einfaches Verfahren berechnen: Man visire bei unveränderter Stellung des Kopfes mit dem rechten b und dem linken Auge a nach einem fernen Objecte c z. B. einer Thurmspitze. Die Visirlinien $a\ c$ des linken und $b\ c$ des rechten Auges stehen sodann nahe parallel, da die Abstandslinie $a\ b$ im Verhältnisse der Entfernung des Objectes einen verschwindend kleinen Werth hat. Misst man nun den Abstand der beiden Visirlinien z. B. in der Art, dass man in jede derselben die Spitze eines in der Hand gehaltenen Zirkels bringt, so repräsentirt der Abstand der Zirkelspitzen $m\ n$ offenbar auch den Abstand der Drehpunkte, da unter obigen Voraussetzungen $m\ n = a\ b$ sein muss.

Fig. 7.

Die Prüfung der Horizontalstellung der Abstandslinie ist gleichfalls durch ein einfaches Experiment ermöglicht. Es sei in Fig. 8 R das rechte, L das linke Auge, $A\ B$ eine horizontale Linie, z. B. ein Fensterstab, welchem der Beobachter gerade gegenübersteht. Wird nun zwischen den Beobachter und die Linie $A\ B$ ein feiner Körper, z. B. eine Nadel c gebracht und visirt man nach derselben, so wird sie für das linke Auge in a, für das rechte in b, d. h. strenge auf der gegenüber stehenden Horizontallinie projicirt, wenn die beiden Augen wirklich horizontal stehen. Für normale Fälle steht sodann auch die Medianlinie des Gesichtes senkrecht. Die senkrechte Stellung der Medianlinie kann mit Hilfe eines Pendelfadens, den man vor das Gesicht hält, leicht controllirt und damit auch jede Gradabweichung der Medianlinie von der Senkrechten bestimmt werden.

Fig. 8.

Lagefehler der Augen kommen sowohl angeboren als erworben häufig und in den verschiedensten Arten vor. In älteren Schriften (Plinius, Pareus, Bartholin etc. Seiler l. c. [illegible] p. 13) werden Monstra erwähnt, bei denen die Augen auf der Brust, den Achseln, Schultern, dem Hinterhaupte, Gesäss, Knie gelagert waren. Es waren diese aber gewiss entweder Acephali oder verschmolzene Doppelköpfe, oder die beschriebenen Augen waren Gebilde anderer Art (naevi materni?) welche nur Ähnlichkeit mit Augen hatten. Dagegen können die Augen

in der horizontalen Ebene der Abstandslinie entweder mehr

nach vorn (Glotzen, Exopthalmus) oder nach rückwärts (Hohläugigkeit) oder auseinander oder zueinander rücken;

b. in der senkrechten Ebene kann ein Auge höher stehen, als das andere. Diese Fehler finden bei den Krankheiten der Orbita, durch welche sie in den meisten Fällen bedingt werden, nähere Betrachtung.

§. 8. Formfehler. Der Augapfel hat keine regelmässig kugelige Form, ja er ist nicht einmal ein Rotationskörper um eine bestimmte Axe, z. B. die Sehaxe. Seine Durchmesser schwanken von 21,5 — 26 Millim. Die Axe des Augapfels (auch Sehaxe, optische Axe), d. h. jene gerade Linie (*a b* in Fig. 1), welche vom Scheitelpunkte der Cornea durch den Mittelpunkt *e* zum hintern Pole *b* verlaufend gedacht wird, kann im Mittel mit 24 Millim., der grösste Horizontaldurchmesser mit 23,8, der grösste verticale mit 22,8, die beiden schrägen mit 25 Millim. angenommen werden. Ein Durchschnitt des Auges in der Richtung der Sehaxe zeigt, dass die Hornhaut der Sklera uhrglasförmig aufgesetzt ist, und der Bulbus eine ellipsoide Gestalt mit der Sehaxe als langer Axe hat. Ein Durchschnitt in der Aequatorialebene lässt den Bulbus dagegen von oben, unten und den Seiten abgeplattet erscheinen. Bei alledem dürfte es für praktische Zwecke dienlich und nicht weit gefehlt sein, wenn wir den Bulbus als Kugel mit dem Diameter von 24 Millim., demnach den Radius von 12 Millim. annehmen. Der Drehpunkt des Auges liegt auf diese Weise sowohl vom hintern Pole als vom Scheitelpunkte der Cornea um den Radius von 12 Millim. entfernt. Der Radius der Corneakrümmung ist jedoch mit 8 Millim. anzunehmen, und es ändert sich damit die Oberfläche der Kugel im vordern Fünftel. Ferner sei bemerkt, dass wir den Krümmungsradius der Vorderkapsel mit 10 Millim., jenen der Hinterkapsel mit 6, die Entfernung des Scheitelpunktes der Cornea von jenem der Vorderkapsel mit 4, die Dicke der Linse mit 4, die Entfernung der Retinalebene vom hintern Pole mit 1, die Entfernung des Kreuzungspunktes der Richtungslinien von der Ebene der Netzhaut mit 15 Millim. annehmen. Der Kreuzungspunkt fällt demnach mit dem Scheitelpunkte der Hinterkapsel zusammen. Der grösste Umfangskreis des Bulbus berechnet sich ferner mit 75,398 Millim., die Oberfläche des Bulbus mit 1810□ Millim., der Kubikinhalt mit 7240 Millim., das Gewicht mit 142 — 148 Gran, im Mittel mit 145 Gran.

§. 9. Die Durchmesser des Bulbus unterliegen vielfachen Schwankungen, ohne dass im Geringsten eine Erkrankung des Auges nach-

weisbar wäre. So lange nicht ein oder mehrere Durchmesser mindestens um 2 Millim. im Verhältnisse zu ihrem mittleren Werthe zu- oder abgenommen haben, dürfte im Allgemeinen die Annahme von Formfehlern nicht gerechtfertigt sein. Hiebei ist freilich auch der relative Werth in Anschlag zu bringen. So muss z. B. eine Sehaxe bereits als pathologisch verlängert erklärt werden, welche ihren mittleren Werth nur um ein Geringes übersteigt, während ihn keiner der übrigen Durchmesser erreicht.

Die Durchmesser des Auges kann man in der Aequatorialebene am lebenden Auge ohne Schwierigkeit annähernd genau mit einem Zirkel messen, dessen Spitzen abgerundet und ein wenig gegen einander gebogen sind. Bei prominirenden Augen ist diese Messung besonders leicht ausführbar.

Die Messung der Augenaxe bei Lebenden ist auf directem Wege nicht auszuführen. Ich habe sie in einer Reihe von Fällen zu bestimmen versucht, indem ich die Entfernung des Drehpunktes von dem Scheitel der Hornhaut nach Valentin's Methode (Lehrb. d. Physiologie p. 334) gemessen habe. Auf einer horizontalen Tafel (Fig. 9) AB sind aus dem Centrum o drei Kreisbogen und Radien gezogen und an den Durchschnittspunkten derselben Insektennadeln aufgestekt. Visirt nun das Auge nach den in den Radien aufgestellten Nadeln und vermag es die hintereinanderstehenden zur Dekung zu bringen, so steht es mit seinem Drehpunkte im Centrum o. Fixirt bei dieser Stellung des Auges ein zweiter in der Richtung der Linie $k\ l$ visirender Beobachter mit dem Fadenkreuz eines Fernrohrs den Scheitelpunkt k der Cornea, so ist auch nach Entfernung des Auges (durch Verlängerung der Linien $a\ g$, $b\ h$, $c\ i$) der Punkt o leicht zu finden, also ko durch Messung zu bestimmen. Nun ist $2ko = kp$, das ist gleich der Augenaxe, und damit diese bestimmt.

Fig. 9.

Letztere Voraussetzung, dass nemlich die doppelte Entfernung des Drehpunktes von dem vordern Pol des Auges gleich sei der Augenaxe, dürfte für normale Augen wohl kaum bezweifelt werden. Sie gilt aber *höchst wahrscheinlich* nicht bei allen Formfehlern des Auges. Wieder-

holte, sehr sorgfältige Untersuchungen an der Leiche sind wünschenswerth, um über diesen Punkt Gewissheit zu erhalten. Die von mir angestellten Messungen sind zu wenig zahlreich, um sich hierüber mit Bestimmtheit aussprechen zu können.

§. 10. Formfehler der Sklera (und damit des ganzen Auges) entstehen im Allgemeinen durch Vermehrung oder Verminderung des Inhaltes, und treten demgemäss entweder als Grössenzunahme oder Abnahme auf, welche wieder nur einen, oder mehre, selbst alle Durchmesser betrifft.

Grössenzunahme (Megalophthalmus). Es lassen sich bei diesem Formfehler zwei Formen unterscheiden: die Vergrösserung mit sonst normaler Bildung sämmtlicher Bulbusorgane, und jene mit anderweitiger Erkrankung derselben.

§. 11. Die Vergrösserung des Augapfels, wobei jedoch weder die Hülle noch der Inhalt sonst eine pathologische Änderung erfahren hat, (Megalophthalmus sens. strict.) ist im höheren Grade sehr selten, da das Gesetz der Symmetrie, welches die Entwickelung des Organismus beherrscht, überhaupt excessive Bildungen einzelner sonst normaler Organe nicht leicht zulässt. Im niederen Grade kommen aber „grosse Augen" oft vor, und gelten vielmehr als eine Zierde, so lange die bulbi nicht im Missverhältnisse der Grösse zur Orbita stehen, aus derselben nicht mehr als gewöhnlich hervortreten. Ich wurde nur einmal wegen eines solchen Formfehlers consultirt.

Im Sommersemester 1858 habe ich nemlich ein gesundes, blühendes Mädchen von 5 Jahren für einige Zeit zur Demonstration in die Klinik aufgenommen, welches mir von den Eltern aus dem Grunde zugeführt worden war, weil dieselben glaubten, das excessiv grosse Auge des Kindes, welches jeden Laien frappirte, möchte entweder krank sein, oder doch eine Krankheit befürchten lassen. Die Gesichts- und Körperbildung des Kindes war vollkommen regelmässig; die Sehkraft des grossen, tiefblauen Auges, dessen Cornea 15 Millim. im Horizontaldurchmesser mass, und welches aus der Orbita nicht prominirte, war ungestört. Die Form des Auges stand eben hart an der Grenze zwischen Schönheit und Monstrosität, und so war es mehr von psychologischem Interesse, die Streitfrage über Schönheit und Krankheit des Kindes immer neu erhoben, und doch nicht entscheidend gelöst zu sehen.

Wenn grosse Augen glotzen, d. h. in einem Missverhältnisse zur Orbita stehen, (welches in solchen Fällen durch absolute Grössenzunahme des Bulbus bedingt sein muss), so hat das Gesicht nicht allein

einen unschönen Ausdruck, sondern es fordern solche Augen auch die ärztliche Obsorge, indem sie traumatischen Einflüssen jeder Art mehr als gewöhnlich ausgesezt sind, und namentlich von Licht, welches einen grösseren Flächenbezirk des Auges diffus zu durchdringen vermag, geblendet werden. Hieraus resultirt ein höherer Grad von Empfindlichkeit gegen Licht, in dessen Folge sowohl die Erscheinungen von Retinal- als Chorioidalcongestion entstehen können. — Die Aufgabe des Arztes besteht in solchen Fällen darin, das Auge gegen Blendung und Traumen möglichst zu schützen. Man empfiehlt den Patienten für den Fall, wo das Auge solchen schädlichen Potenzen ausgesetzt ist, z. B. im freien Felde, bei gewissen Beschäftigungen etc. das Tragen einer beschattenden Kopfbedekung, nach Umständen eines Schirmes, Schleiers, gedämpfter (grauer oder blauer) Schutzbrillen, und widerräth ihnen überhaupt eine stärkere Anspruchnahme des Auges.

§. 12. Die erworbene Vergrösserung des Augapfels involvirt stets eine tiefere Erkrankung desselben, welche im Allgemeinen durch Vermehrung der Inhaltes, vorzüglich durch Vermehrung des Gehaltes an Flüssigkeit (vermehrte Wasseraufnahme) in Folge congestiver oder entzündlicher Leiden, wohl aber auch zuweilen durch Wucherungen von Geschwülsten (Pseudoplasmen) der verschiedensten Art hervorgerufen wird. Es fällt daher diese Form des Megalophthalmus mit den verschiedensten Augenkrankheiten zusammen, und hat demgemäss auch verschiedene Bezeichnungen erhalten. Es gehört hieher der Hydrophthalmus universalis, Buphthalmus, das Ochsen-, Elephantenauge, der Hydromegalophthalmus, der Cirsophthalmus, die allgemeine Varicosität des Bulbus, verschiedene Formen der Staphylome, des Augenkrebses, der Myopie u. s. w. Die regelwidrige Grösse des Auges erreicht in solchen Fällen oft einen hohen Grad. Man hat die Grösse eines Hühnereies (die lange Axe eines solchen misst 57—60 Millim. d i. 26—27''', also nahe 2½ Augenaxen), eines borstorfer Apfels (Ramström, Acrell), eines Gänseeies (Cheston) beobachtet. Heister sah sogar in einem Falle das eine Auge fünfmal grösser werden als das andere, und in einem andern Falle wog es 2880 Gran, (es wäre also nahe 20mal schwerer geworden! — Schön a. a. O. p. 14).

Bei jeder erworbenen Vergrösserung erfährt die Sklera entweder eine gleichförmige oder ungleichförmige Ausdehnung (Skleralektasie, Skleralstaphylom) und Verdünnung. Excentrische Hypertrophie der Sklera kommt nicht vor. Die Verdünnung des Skleragewebes hat *wohl zunächst* ihren Grund in dem vermehrten und dauernden intra-

oculären, excentrischen, hydrostatischen Druke, der in Folge von Vermehrung des Bulbusinhaltes auf ihr lastet. Ihr Gewebe wird hiedurch jedenfalls in höherem Grade gespannt, und dadurch ihr bindegewebiges Gefüge mehr gestrekt. Eine höhergradige Ausdehnung der Sklera setzt aber immer auch Lokerung ihres Gefüges voraus. Diese entsteht bei gleichzeitiger Chorioiditis und episkleraler Hyperämie durch Imbibition von Blutserum, welches entweder von aussen nach innen, oder umgekehrt in dem Skleralgewebe fortschreitet, wohl auch an der Stelle der dasselbe durchsetzenden Blutgefässe unmittelbar eintreten kann. Da die Skleralektasien sich nicht wohl an jenen Stellen am häufigsten und bedeutendsten entwikeln, wo die Sklera am dünnsten ist, vielmehr gerade an und in der Nähe der Durchtrittsstelle von Blutgefässen am häufigsten vorkommen, so muss auf letzteren Umstand Gewicht gelegt werden. Ist die Sklera einmal bis zu einem gewissen Grade wasserreicher geworden, so wird die endos- und exosmotische Strömung freier vor sich gehen. Die Bedingungen zu mehrerer Wasseraufnahme sind gegeben, das aufgenommene Plasma kann höhere Organisationsstufen erklimmen (Scleritis); das erweichte Skleralgewebe leistet dem intraoculären Druke immer schwächeren Widerstand, und es kann somit die Ausdehnung desselben auch immer höhere Grade erreichen. — Die Mehrzahl der Fälle von Skleralstapyhlomen ist unzweifelhaft lediglich das Resultat einfacher seröser Durchfeuchtung und dadurch bedingter Resistenzverminderung des Skleralgewebes, sowie die secundäre Erscheinung episkleraler oder chorioidaler Stase. Will man jeden solchen Zustand schon als Scleritis auffassen, so kann dagegen im Grunde nichts gesagt werden.

Die ektatischen Partien der Sklera zeigen meist eine bleigraue, stahlblaue, cadaveröse Farbe, von verschiedener Intensität bis zum Dunkelschwarz. Diese Farbe wird durch das Dunkel des inneren Auges hervorgebracht, in dessen Tiefe man durch das verdünnte Gewebe hineinzublicken vermag Die Sclerotica wird oft bis auf 0,1 Millim. und noch mehr verdünnt, und gestattet dann selbst das Durchleuchten des Auges an den betreffenden Stellen, wodurch es zuweilen möglich wird, gröbere Veränderungen im inneren Auge, z. B. Linsen- Glaskörperopacitäten wahrzunehmen.

Der Übergang einer ektatischen Sklerapartie in normales Gewebe geschieht entweder plötzlich, wobei die ektatische Stelle meist in Halbkugelform, blasenartig, divertikelförmig, wulstförmig über das normale Niveau hervortritt (Staphyloma scleræ circumscriptum). In anderen

Fällen geht die Ektasie ganz unmerklich, allmälig in die normalen Dickenverhältnisse über (Staphyloma scleræ diffusum), und die Niveauveränderung ist dann entweder gering oder kaum merkbar.

Die Chorioidea liegt der Sklera stets enge an, ist gleichfalls ausgedehnt, dabei meist atrophisch, die Pigmentschichte fehlend, die Gefässe zum grösseren Theile obliterirt, das bindegewebige Stroma rareficirt, seine Bündel weitmaschig auseinanderstehend. Zunächst der Chorioidea findet man je nach dem bedingenden Processe die verschiedensten Veränderungen; in der Mehrzahl der Fälle jedoch serös-albuminösen Erguss, durch welchen die Retina abgehoben, und nach einwärts verdrängt wird.

§. 13. Man kann die acquirirte Vergrösserung des Augapfels in eine totale und partielle unterscheiden, je nachdem nämlich entweder alle, oder vorwaltend nur ein oder einige Durchmesser zugenommen haben. Die totale Vergrösserung ist selten, wenigstens die mehr gleichförmige Zunahme aller Durchmesser (Staphyloma sclerae globosum), indem meist einer oder der andere doch prävalirt, namentlich der Axendurchmesser. Hieher gehören zwei Krankheitszustände, welche schon in der älteren Literatur genauer beschrieben worden sind: der Cirrsophthalmus und Buphthalmus. J. Beer (Lehre v. d. Augenkrankheiten. Wien, 1813) bezeichnet die Cirrsophthalmie als allgemeine Varicosität des Bulbus, deren Ursache Kropfaderbildung der Chorioidea als Ausgang der arthritischen Augenentzündung bei pastösen Individuen sei, zu welcher sich gewöhnlich glaucomatöse Entmischung des Glaskörpers und der Linse geselle. Den Buphthalmus beschrieb er als Augenwassersucht, welche sich namentlich durch ein rasches Auftreten kundgibt und mehr bei scrophulösen und kachektischen Individuen vorkommt. Varices der Chorioidalgefässe bedingen aber diesen Zustand (wie bereits Jüngken, Lehre von d. Augenkrankheiten. Berlin, 1832) hervorhob durchaus nicht. Arthritis, Scrofulose, Kachexien u. s. w. stehen gewiss in einem nur sehr bedingten, oft zweifelhaften Verhältnisse zu dieser Augenkrankheit. Sie ist vielmehr das letzte Endglied einer Chorioiditis totalis, und zwar jener Form, welche mit serös-albuminöser Exsudation einhergeht. Die Ursachen dieser Chorioiditis sind demnach auch jene des Buphthalmus. Es führen namentlich locale Bedingungen, welche immer neue Reizzustände des Auges und damit neue Nachschübe serösen Ergusses im inneren Auge veranlassen, zu dem Buphthalmus. Vorzüglich tritt er zu grossen, stark prominenten Staphylomen der Cornea, sowie

zu partiellen Skleralstaphylomen, welche stark prominiren und die Bewegungen der Lider hindern, den Lidschluss erschweren, wodurch der Augapfel continuirlich äussern Reizen ausgesetzt ist. Beer fürchtete namentlich den Übergang der Cirrsophthalmie in Krebs, welcher bei kachektischen Individuen durch eine unzweckmässige Therapie veranlasst werden soll, und hielt demgemäss diese Krankheit für „ein wahres noli me tangere“. Es kann in der That nicht abgeläugnet werden, dass ein Chorioidalkrebs mit den Erscheinungen der Chorioiditis seroalbuminosa und durch letztere bedingter excessiver Volumszunahme des Bulbus sich combiniren könne, dass der Krebs in solchen Fällen, so lange er im Bulbusraume keinen grösseren Raum beansprucht, durch die Symptome der Chorioiditis maskirt werden könne. Man kann demgemäss allerdings den Chorioidalkrebs unter die entfernteren ätiologischen Momente des Buphthalmus zählen. Diese Ursache ist aber einestheils selten, anderntheils involvirt sie kein „noli me tangere“; ein operativer Eingriff, die Exstirpation ist sogar noch dringender geboten, als bei anderen Formen des Buphthalmus.

Ein buphthalmischer Bulbus ragt stets beträchtlich aus der Orbita hervor; er kann von den Lidern nicht, oder nur theilweise und unter starker Spannung derselben gedeckt werden. Die Augenlider werden verdrängt und gedehnt, die Lidspalte erweitert, namentlich ist meist das untere Lid beträchtlich nach abwärts verdrängt und kann gar nicht mehr gehoben werden. Die Thränenableitung ist gestört; die Palpebralbindehaut mehr minder blossgelegt, erscheint dann hyperämirt, gelockert, und liefert ein reichlicheres Schleimsecret. Sie kann bei längerer Dauer der Bloslegung hypertrophiren, oder beträchtlich ödematös schwellen. Die Skleralconjunctiva zeigt in solchen Fällen gleichfalls eine dicht netzförmige Injection oder seröse Schwellung; wo jedoch die Lidspalte noch geschlossen werden kann, sind mindestens in der Skleralbindehaut zahlreiche, sehr erweiterte, geschlängelt verlaufende collaterale Episkleralgefässe entwickelt. Der Bulbus fühlt sich steinhart an, und ist meist nur beschränkt beweglich. Die schiefergraue oder stahlgraue Farbe der ektatischen Sklera gibt dem Auge namentlich ein abschreckendes, cadaveröses Aussehen, welches noch gesteigert wird, indem die Cornea entweder staphylomatös, oder doch matt, serös durchfeuchtet ist, die Pupille entweder gesperrt, oder sehr erweitert, die Iris immobil. Das Auge ist in der Regel complet amaurotisch. Zeitweilig intercurriren die Erscheinungen heftiger Ciliarneuralgie, häufiger Kopfschmerz belästigt die Kranken. Dieser tritt

vorzüglich dann auf, wenn neue Nachschübe serösen Ergusses im inneren Auge stattfinden.

Der Buphthalmus kann sich manchmal ziemlich rasch entwikeln (Hydrophthalmus acutus); in der Regel aber nimmt die Vergrösserung des Bulbus nur ganz allmälig in Monaten, selbst Jahren, zu. Es kann durch den Hinzutritt einer Chorioiditis mit croupösem Exsudate (Panophthalmitis) eine regressive Metamorphose mit endlicher Atrophie des Augapfels eingeleitet werden. Doch bleibt dieser Formfehler auch durch die ganze Lebenszeit ständig. Durch Einwirkung verhältnissmässig geringer Gewalten (Anstossen des Auges u. s. w.) berstet ein buphthalmischer Bulbus leicht, vorzüglich an der Stelle der verdünnten Skleralpartien in der Circumferenz der Cornea und es wird manchmal dadurch mit der Entleerung des Inhaltes eine Reduction des Formfehlers eingeleitet. Spontane Berstung der Sklera ist aber noch nicht beobachtet worden.

Die bedeutende Entstellung des Gesichtes sowie die belästigenden Schmerzen, welche den Buphthalmus begleiten, endlich die durch denselben hervorgerufene Verzerrung der Lider, der mangelhafte Schluss der Lidspalte und dessen Folgen ergeben die dringende Indication, den Bulbus auf seine ursprüngliche Form zurückzuführen, oder wo diess nicht möglich ist, lieber eine phthisische Schrumpfung desselben einzuleiten, welche es in manchen Fällen möglich macht, den Verlust des Auges durch ein künstliches zu maskiren. Die Behandlung besteht in der Ausschneidung eines Stückes der Vorderwand des Bulbus und Entleerung des Bulbusinhaltes, ein Verfahren, welches sich von der Operation des Hornhautstaphyloms nicht unterscheidet, und deshalb dort besprochen wird.

§. 14. Die partielle Vergrösserung des Bulbus, bedingt durch partielle Skleralektasie, für welche wir die übliche Bezeichnung „Skleralstaphylom" beibehalten, tritt in drei Formen auf: als Staphyloma sclerae posticum in der Circumferenz des optischen Nerven; Staphyloma sclerae anticum in der Gegend des corpus ciliare, und Staphyloma sclerae laterale vel æquatoriale in der Gegend des Bulbusäquators.

§. 15. S t a p h y l o m a s c l e r a e p o s t i c u m (staphyl. posticum Scarpae).

A n a t o m i s c h e V e r ä n d e r u n g e n. Bei dieser Krankheit wird zunächst die Sklera in der Gegend des hinteren Poles ausgedehnt, verdünnt, und hiedurch der Axendurchmesser des Auges verlängert. *Die Ektasie der* Sclerotica beginnt an der äusseren Seite des optischen

Nerven: die Insertionsstelle desselben kann aber später mehr oder minder in das Bereich der Ektasie gezogen werden, und diese selbst entweder als diffuses oder circumscriptes Staphylom auftreten. Demgemäss lassen sich mit ziemlicher Strenge vier Formen unterscheiden:

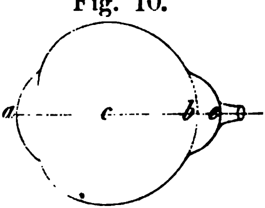
a) Staphyloma circumscriptum laterale, die gewöhnlichste Form, wobei an der äusseren Seite des optischen Nerven eine umschriebene Ausdehnung vorkommt, welche in der Form einer mehr minder breiten, scharf begrenzten Mondsichel sich an die Opticusinsertion lehnt.

b) Staphyloma circumscriptum annulare, wobei die Ausdehnung die Form eines scharfbegrenzten Ringes angenommen hat, der die Opticusinsertion ganz umfasst.

c) Staphyloma diffusum laterale, eine diffuse, meist beträchtliche Ausdehnung der hinteren Polgegend, welcher der Opticus seitlich aufsitzt.

d) Staphyloma diffusum annulare, wo der Opticus einer ähnlichen Ausdehnung central aufsitzt.

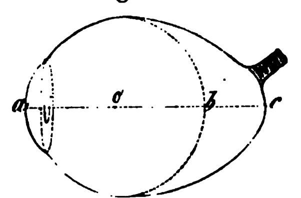
Fig. 10.



Profilansicht des Staphyloma circumscriptum annulare.

In allen diesen Fällen, mehr jedoch bei der 3. und 4. Form wird der Axendurchmesser verlängert; er kann bis 38 Millim. lang werden, demnach um 14 Millim. oder $^3/_5$ der normalen Länge zunehmen.

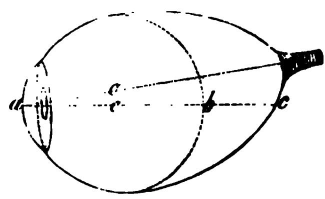
Fig. 11.



Horizontaldurchschnitt eines Staphyloma diffusum laterale. *a o b c* die verlängerte Augenaxe, *a b* der Durchmesser eines normalen Auges von 24 Millim. *m* der nervus opticus.

Jede höhergradige Erweiterung der hinteren Polgegend des Auges geht mit einer Formänderung des ganzen Bulbus einher; derselbe wird birnförmig oder eiförmig, auch die seitlichen und vorderen Partien der Sklera verlieren die normale Rundung, werden mehr abgeflacht, und es tritt demnach die Sklera schon vom Cornealrande steiler als gewöhnlich nach rückwärts. Wenn der Kranke das Auge stark nach einwärts wendet, und hiedurch ein grösserer Flächenbezirk der Sklera für den Untersuchenden sichtbar wird, so kann man die Abflachung der seitlichen Flächen des Bulbus deutlich wahrnehmen. Selbst

Fig. 12.



Horizontaldurchschnitt durch ein Staphyloma diffusum annulare. Die Augenaxe *a o b c* fällt hier nicht mit der Längenaxe *a m* des Bulbus zusammen, sondern diese ist seitlich nach der Opticusinsertion verschoben.

die Cornea ändert in manchen seltenen Fällen ihre Krümmung; ihr Radius wird verkürzt, die Krümmung selbst kegelförmig.

In Folge der Axenverlängerung tritt die Vorderfläche des Bulbus häufig um ein Geringes aus der Orbita hervor: das Auge glotzt in niederem Grade. — In der Mehrzahl der Fälle erscheint ferner der Parallelismus der Sehaxen gestört, dieselben convergiren.

Bei activer Entwikelung der Krankheit und Reizphänomenen des Auges erscheinen die Episkleralgefässe stärker entwikelt. In Folge der Erhöhung des hydrostatischen Druckes wird der Bulbus zuweilen härter, resistenter. Ferner erscheint die Augenkammer grösser, die Iris tritt zurück; sie zeigt bei höheren Graden der Krankheit trägere Beweglichkeit, ihre Pupille ist mehr erweitert. — Die Chorioidea erfährt Veränderungen, welche theils als unmittelbare Folge der mechanischen Zerrung, Dehnung, theils als solche der allgemeinen Circulationsstörung im Bulbusraume, der Stase zu deuten sind. Im Allgemeinen wird an der Stelle der Skleralektasie die zusammenhängende Pigmentschichte der Chorioidea macerirt, zerstört, abgeschwemmt, einzelne Pigmenthaufen bleiben oft inselförmig im Bereiche der Ektasie zurück. Entsprechend der macula lutea erhält sich die Pigmentschichte der Chorioidea gewöhnlich am längsten, die Pigmentelemente sammeln sich oft an den Grenzen der Ektasie in Form unregelmässiger dunkler Flecke an. Die Choriocapillaris wird ebenso wie das Stroma der vasa vorticosa rareficirt, atrophirt. Zuweilen kommt die Colloidentartung (drusige Hypertrophie) vor. Die Chorioidalgefässe gehen allmälig unter; nur vereinzelte Stämme durchziehen das atrophische Gewebe. Es treten zuweilen Berstungen solcher Gefässe und daher apoplektische Herde mit consecutiver Pigmentmetamorphose des Blutes auf. Die Chorioidea hängt mit der Sklera fester als gewöhnlich zusammen, und die Farbe der Innenfläche der Sklera schimmert durch das atrophische Chorioidalgewebe meist ungedämpft hindurch.

Fig. 13.



Innere Fläche der Chorioidea bei Staph. post. Der Bulbus ist durch einen senkrechten Schnitt in zwei Hälften getheilt: eine derselben ist hier dargestellt. Nach Entfernung des Glaskörpers, der Linse und Retina sieht man die Innenfläche der Chorioidea. Diese Membran ist noch in Verbindung mit der Sklera geblieben, welche hochgradig verdünnt ist. Der Axendurchmesser des Auges beträgt 30.5 Millim. In der hintern Polgegend und um den nervus opticus erscheint die Choiroidea im weiten Umfange atrophirt, die Grenzen der Atrophie durch zackige Ränder scharf markirt. Natürliche Grösse.

Auch die Retina erfährt beträchtliche *Dehnung und Zerrung*, welche sich im Allgemeinen durch Streckung der Ge-

fässe, mehr geradlinigen Verlauf derselben an der Stelle der Ektasie kundgibt. Auch hier kommt es zuweilen zu den Erscheinungen der Stase, umschriebenen apoplektischen Ergüssen, zu leichter zartwolkiger Trübung des Gewebes. An den Grenzen der Ektasie ist manchmal der Zusammenhang der Retina und Chorioidea inniger als gewöhnlich. — Mit der Volumsvermehrung des Bulbus ist stets eine Vergrösserung des Glaskörpers durch vermehrte Wasseraufnahme gegeben. Bei den niederen Graden der Krankheit scheinen bloss die einzelnen Fächer des Glaskörpers namentlich in der hinteren Polgegend eine grössere Menge von Vitrina zu enthalten, und gleichzeitig das glashäutige Gewebe hiedurch eine grössere Spannung zu erfahren (reiner Hydrops). Es kommt aber bei höheren Graden der Krankheit unzweifelhaft zur Zertrümmerung einzelner Fächer zunächst in der Nähe der ektasirten Partien und damit zur Ansammlung von Vitrina in grösseren Hohlräumen, zur sogenannten Verflüssigung des Glaskörpers, wobei die Vitrina feste Elemente, Opacitäten der verschiedensten Art enthalten kann: Blutextravasate, Reste des glashäutigen Fachwerkes, Faserstoffloken (Lymphfäden), Molekularmasse u. s. w. Zuweilen entwikeln sich bei höhern Graden dieser Krankheit auch Linsentrübungen, vorzüglich hintere Polarcataract, die in cataracta totalis übergehen kann.

§. 16. Functionstörungen. Bei allen höheren Graden des Staphyloma posticum sind die seitlichen Bewegungen des Auges, namentlich jene nach aussen beschränkt Die Ursache dieser Beschränkung dürfte in der Verlängerung des Hebelarmes *o c* (Fig. 11) zu suchen sein, welcher sich in der Orbita aus dem Drehpunkte o bewegt. Die Beschränkung dieser Bewegung, das Resultat einer Art Einkeilung des Bulbus in das Polster der Orbita, muss offenbar der Verlängerung des Hebelarmes proportional sein. — Die Symptome einer Erhöhung des hydrostatischen Druckes im Bulbus werden bei den niederen Graden dieser Krankheit nicht wohl, bei den höheren gleichfalls selten, und dann nur vorübergehend beobachtet. Die Ursache liegt in der verminderten Resistenz der Sklera. Wohl aber wird in Folge der Zerrungen der Gefässe die Blutströmung mehrfach behindert. Hieraus erklären sich die Erscheinungen von Chorioidal- und Retinalcongestion, der Asthenopie u. s. w. an welchen solche Patienten zuweilen leiden. Die Abnahme des Chorioidalpigmentes erklärt ferner die Blendung des Auges durch grelles Licht, mehr noch die ziemlich constante Beobachtung, dass die Kranken im Allgemeinen bei sonst ungenügendem Lichte, z. B. in der Dämmerung, bei Mondschein besser

sehen, als normalsichtige Individuen. Bei hohen Graden des Staphyloma posticum entwikeln sich, wohl durch die Zerrung der Retina, durch apoplektische Ergüsse in derselben und selbst partielle Retinitis bedingt, Sehstörungen der verschiedensten Art, Flecken-, Wolkensehen, Gebrochen- und Verbogensehen, ja in seltenen Fällen Torpor der Retina — Amblyopie. An entoptischen Erscheinungen (fliegende Mücken) leidet die Mehrzahl der Kranken. Tritt Cataract hinzu, so wird diese eine neue Quelle von Beschränkung der Sehkraft. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass alle diese Symptome nur bei höheren Graden der Krankheit beobachtet werden. Bei den niederen leidet das Sehvermögen in der Regel weder durch Beschränkung der Retinalfunction, noch andere Functionsanomalien. Constant wird bei allen Formen von Staphyloma posticum nur eine Art von Sehstörung beobachtet — die Myopie. Diese resultirt aus der Volumsvermehrung des Glaskörpers, der Axenverlängerung des Auges. Es ist demnach hier zunächst der Ort, dieses Krankheitssymptom näher zu betrachten. Ein richtiges Verständniss desselben setzt jedoch die Kenntniss der dioptrischen Verhältnisse des Auges voraus, welche, soweit ihre Kenntniss dem Arzte unentbehrlich ist, vorerst erörtert werden sollen.

§. 17. Dioptrische Verhältnisse des Auges.

Das Auge als dioptrisches Organ ist nach dem Principe der Dunkelkammer (camera obscura) gebaut. Es besteht aus einem System von lichtbrechenden Mitteln (Linsen) von verschiedener Krümmung, Brechungsindex, Dicke und wechselseitigem Abstand, welche ziemlich genau centrirt sind. Das Licht soll bei seinem Gange durch dieselben endlich ein umgekehrtes deutliches, scharfes Bild der Objecte der Aussenwelt auf der Ebene der Netzhaut entwerfen. Es ist nun für sich klar, dass unter den gegebenen Verhältnissen die Eruirung des Ganges der Lichtstrahlen manche Schwierigkeiten darbietet, indem die grosse Zahl der brechenden Mittel, welche das Licht im Auge passirt, die Untersuchung komplicirt. — Mit der Entwikelung einfacher Ausdrücke für ein System brechender Mittel haben sich die besten Mathematiker: Euler, La Grange, Bessel, Gauss, Littrow, Stampfer u. a. beschäftigt. Listing (Art. Dioptrik in Wagners Handwörterbuch) versuchte zuerst auf Grundlage der Gauss'schen Formeln eine Aufstellung der optischen Cardinalpunkte für das Auge. Neuerlich hat Helmholtz (Allg. Encyklop. d. Physik v. Karsten 1. Lieferung) den Gegenstand mit ganz besonderer Klarheit elementar entwikelt. — Stellwag (die Accomodationsfehler 1855) pries den von Stampfer gewählten Gang

der Untersuchung. — Zehender (Anleitung z. Studium d. Dioptrik. Erlangen, 1856) folgt Gauss-Listing in der Theorie des Gegenstandes, und gibt namentlich eine erschöpfende Zusammenstellung der vorliegenden Messungen und Messungsmethoden. — Auf eine mathematische Discussion des Gegenstandes näher einzugehen, ist hier nicht der Platz. Es muss in dieser Beziehung namentlich auf die Arbeiten von Helmholtz und Zehender verwiesen werden.

Die Einstellung für die Ferne ist erfahrungsgemäss der Normalzustand des Auges, der Ruhezustand desselben, d. h. so lange der Refractionszustand eines gesunden Auges sich nicht willkürlich ändert, werden parallele Lichtstrahlen, welche von einem fernen Objectpunkte kommen, und als solche die Corneaoberfläche treffen, auf der Netzhautebene in einem Punkte vereinigt. Fällt Fig. 14. ein paralleles Lichtbündel *a b* auf die Cornea, so durchdringt ein Theil desselben die Pupille, und vereinigt sich auf der Retina in dem Focus *f*. Dieser Punkt heisst der Brennpunkt des Auges (auch innerer, hinterer Brennpunkt genannt). Ihm entspricht ein äusserer, vorderer Brennpunkt *f*, Fig. 15, in welchem sich Licht vereinigt, welches im Auge parallel war. — Ob das Auge wirklich für paralleles Licht eingestellt sei, wird noch bestritten. Man bezeichnet bekanntlich als ein gutes, scharfes Auge jenes, welches den Stern Alcor neben *z* im Sternbilde des grossen Bären deutlich erkennt. Auch der gewissenhafteste Physiker wird nicht allein das Lichtbündel, welches von diesem Sterne in die Pupille gelangt, sondern auch solche von noch viel näheren Objecten als parallel anerkennen müssen, da der mittlere Werth des Pupillardurchmessers 4 Millim. beträgt, daher auch nähere Objecte einen Lichtkegel von relativ sehr kleiner Basis in das Auge senden. — Die durch die Brennpunkte gelegten Ebenen heissen Focalebenen. Nebst den Brennpunkten sind im Auge noch 4 Punkte von Wichtigkeit, die beiden Hauptpunkte, welche in der Vorderkammer sehr nahe beisammen liegen, und durch welche gleichfalls Hauptpunktsebenen gelegt gedacht werden; ferner die Knotenpunkte in gleichem Abstande von

Fig. 14.

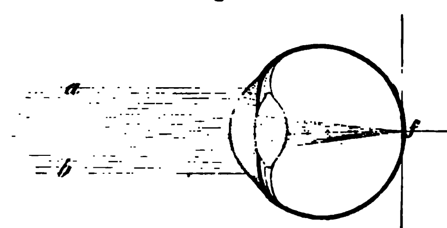
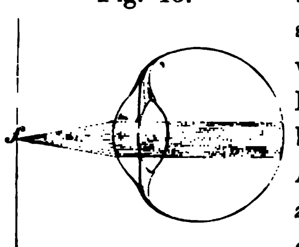


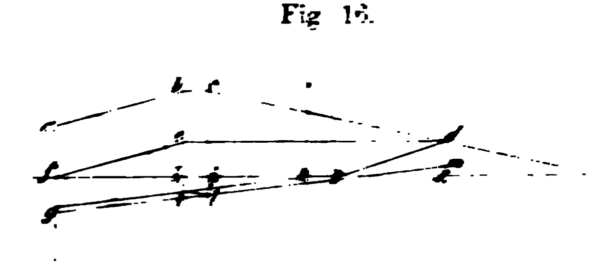
Fig. 15.



einander, wie die Hauptpunkte, mit den durch sie gelegten Knotenpunktebenen, und nahe der Hinterfläche der Linse liegend.

Die Benützung der erwähnten sämmtlichen Punkte und Ebenen lehrt Folgendes für den Gang der Lichtstrahlen.

Fig 16.



Trifft ein Lichtstrahl Fig. 16 von beliebiger Richtung *ab* die vordere Fokalebene in *a*, die vordere Hauptebene in *b*, so zieht man parallel zur Sehaxe *ff*, die Linie *bc* von der vorderen zur hinteren Hauptebene, und parallel mit *ab* eine Linie durch den hintern Knotenpunkt *k*, welche die hintere Fokalebene in *d* schneidet. Zieht man nun von *c* nach *d* eine Linie, so gibt diese die Richtung des Strahles im letzten Mittel. Man kann auch *fe* parallel zu *ab* ziehen, und von *e* eine zur Sehaxe parallele Linie *ed*; es ist dann *d* der Punkt, wo der Strahl auf die Focalebene fällt.

Geht ferner ein Strahl *gi* in der Richtung gegen den ersten Knotenpunkt *k*, so wird er erst nach *il* abgelenkt, und geht hierauf in der Richtung *lk*, parallel mit *gi* fort.

Kennt man nach dem Erörterten den Gang jedes einzelnen Lichtstrahles, so findet man auch mit Leichtigkeit den Punkt, in welchem ein zusammengehöriges System von Strahlen vereinigt wird. Ist z. B. das Auge für paralleles Licht adaptirt, so vereinigen sich die sämmtlichen Strahlen Fig. 14 im hinteren Brennpunkte *f*. — Liegt ein endlich fernes leuchtendes Object in der Sehaxe, so ziehe man nach obiger Vorschrift (Fig. 16) einen Strahl durch die Sehaxe und einen seitlichen Strahl, und der Durchschnittspunkt dieses mit der Axe ist dann das Bild des Objectes. — Liegt das endlich ferne Object ausser der Augenaxe, so ziehe man von demselben zwei divergente Strahlen, deren Durchschnittspunkt nach der Brechung das Bild des Objectes gibt.

Die Lage der Cardinalpunkte des Auges unterliegt ziemlich beträchtlichen individuellen Verschiedenheiten. Ausserdem ändern dieselben auch ihre Lage, wenn die willkürliche Accomodation eintritt. Es ist aber jedenfalls sehr wünschenswerth, wenigstens näherungsweise die Werthe derselben für ein normales, mittleres Auge zu kennen und zugleich einfachere Zahlen hiefür zu gewinnen, damit

diese die Rechnungen nicht compliciren. Listing hat ein schematisches mittleres Auge berechnet, dessen optische Constanten folgende sind:

Das Brechungsvermögen	der Luft	. . . .	1
„	„	des humor aqueus	$^{103}/_{77}$
„	„	der Linse	$^{16}/_{11}$
„	„	des Glaskörpers	$^{103}/_{77}$

Radius der Cornea 8 Millim., der vorderen Linsenfläche 10, der hinteren 6 Millim., Entfernung der Corneavorderfläche von der Linse 4 Millim.; Dicke der Linse 4 Millim. Der erste Brennpunkt 12,8226 Millim. von der Hornhaut, der zweite 14,6470 hinter der Linse; der erste Hauptpunkt 2,1746 Millim., der zweite 2,5724 hinter der Vorderfläche der Cornea; gegenseitiger Abstand 0,3978 Millim. Der erste Knotenpunkt 0,7580, der zweite 0,3602 Millim. vor der Hinterfläche der Linse. Die erste Hauptbrennweite beträgt also 15,0072, die zweite 20,0746 Millim.

Listing hat ferner ein reducirtes Auge berechnet, dessen Werthe für solche Berechnungen, wo man nur nach der Grösse und Lage von Bildern fragt, besonders dienlich sind. Ein solches reducirtes Auge für „summarische Berechnungen“ gibt auch Zehender an. Der Brechungsquotient $n' = 1{,}34328$, die einzige Trennungsfläche hat den Radius $= 2{,}3'''$ und ist um $0{,}9'''$ hinter der Vorderfläche der Hornhaut verschoben; der erste Hauptpunkt — e liegt $0{,}9'''$, der zweite — e^* liegt $1{,}1'''$ hinter der Cornea. Die Entfernung beider Hauptpunkte von einander beträgt $0{,}2'''$. Die vordere Brennweite f (d. h. die Entfernung des vorderen Brennpunktes von dem gleichnamigen Hauptpunkte), beträgt $6{,}7'''$, die hintere f^* $9'''$. Der erste Knotenpunkt liegt $3{,}2'''$, der zweite $3{,}4'''$ hinter der Cornea. Die Länge der Sehaxe, d. h. von der Vorderfläche der Cornea bis zur Netzhautebene beträgt somit $10{,}1000'''$. Für die Berechnung der Bildweite p^*, d. h. der Entfernung des Bildes von dem zweiten Hauptpunkte gilt die Gleichung:

$$p^* = \frac{f^*\, p}{p - f},$$

wobei p die Objectferne bedeutet.

Für die Berechnung der Grösse m eines optischen Bildes gilt

$$m = \frac{f}{f - p}.$$

Ist also z. B. $p = 432'''$, so ist $p^* = 9{,}1415'''$ und $m = -0{,}0157$, wobei das negative Zeichen der Ausdruck für die umgekehrte Lage des Bildes ist.

Das menschliche Auge ist nicht allein für eine weite Ferne ein-

gestellt, sondern vermag noch Objecte von beträchtlicher Nähe deutlich zu erkennen, ohne dass es nöthig wäre, die Refractionsverhältnisse zu ändern. Das Auge ist im Normalzustande demnach nicht lediglich für einen Punkt in der Tiefe eingestellt, sondern für eine Linie, welche aus weiter Ferne bis nahe an das Auge heranreicht. Die Ursache liegt zunächst darin, dass wie v. Stellwag: Die Accommodationsfehler, zuerst hervorgehoben hat, die lichtempfindende Ebene der Netzhaut keine mathematische ist, sondern körperlich. Die Zapfen- und Stäbchenschichte der Netzhaut, welche als eigentlich lichtempfindende Schichte angesehen werden muss, hat eine gewisse Dicke, und es ist für das Sehen gleichgültig, ob ein Bild die vordere oder hintere Grenze derselben treffe. Nimmt man die Dicke der empfindenden Schichte nur mit 0,03''' an, so kann ein Object, wie obige Formel für die Bildweite lehrt, bis auf 2000''', also beiläufig 13 Fuss an das Auge herankommen, und doch gleichzeitig mit einem sehr fernen Objecte ohne Änderung des Refractionszustandes ein vollkommen deutliches Bild auf der Netzhaut entwerfen. Es verhält sich das Linsensystem des Auges übrigens ganz so, wie überhaupt Linsen von kurzer Brennweite, bei welchen sich die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen im Verhältnisse zur Objectdistanz nur wenig ändert, und erst eine erhebliche Änderung bei beträchtlicher Annäherung des Objectes eintritt. Berechnen wir die Formel für die Bildweite für bestimmte Entfernungen eines Objectes, so ergibt sich Folgendes:

Ist $p =$	∞	so ist	$p^* =$ 9'''
„ $p =$	10000'''	„	$p^* =$ 9,007'''
„ $p =$	5000'''	„	$p^* =$ 9,012'''
„ $p =$	3000'''	„	$p^* =$ 9,020'''
„ $p =$	2000'''	„	$p^* =$ 9,030'''
„ $p =$	1000'''	„	$p^* =$ 9,070'''
„ $p =$	500'''	„	$p^* =$ 9,122'''
„ $p =$	100'''	„	$p^* =$ 9,946'''
„ $p =$	50'''	„	$p^* =$ 10,392'''
„ $p =$	24'''	„	$p^* =$ 12,566'''
„ $p =$	12'''	„	$p^* =$ 20,377'''
„ $p =$	8'''	„	$p^* =$ 55,384'''
„ $p =$	7'''	„	$p^* =$ 210,000'''
„ $p =$	6,9'''	„	$p^* =$ 310,500'''
„ $p =$	6,8'''	„	$p^* =$ 612,000'''
„ $p =$	6,7'''	„	$p^* =$ ∞

Diese Tabelle lehrt mit Bestimmtheit, dass das Bedürfniss nach einer Änderung der Refractionsverhältnisse im Auge beim gewöhnlichen Sehen im Allgemeinen gering ist, nur bei bedeutender Annäherung der Objecte eintritt, aber selbst dann keine sehr erheblichen Änderungen in den Abständen oder Krümmungen der dioptrischen Medien erheischt. Es zeigt, sich, dass ein Objekt bis auf 2000''' sich dem Auge nähern könne, und noch ein vollkommen scharfes Bild von demselben auf der emfindlichen Schichte der Netzhaut entstehe. Bei grösserer Nähe wird sein Bild zwar hinter die Netzhautebene fallen, demnach ein Zerstreuungsbild entstehen. Der Durchmesser der Zerstreuungskreise ist aber doch im Allgemeinen selbst bis auf 4—3' so gering, dass mindestens die Wahrnehmung von Objecten grösseren Gesichtswinkels, grösserer Dimensionen, nicht leidet, namentlich, wenn die Pupille enge, die Farbencontraste bedeutend sind u. a. m. — Nehmen wir die Entfernung der Irisebene von der Netzhaut a mit 8,6415''' (Zehender), die Pupillarweite b mit 1,2''' an, und bezeichnen mit c die Entfernung des Vereinigungspunktes der Lichtstrahlen von der Netzhaut, mit k die Grösse des Zerztreuungskreises, so ist $k = \frac{b.\,c}{a}$.

Ferner sei p die Entfernung des Objectes, p^* die Bildweite, so ist

p	p^*	k
∞	9'''	0,0000
10000'''	9,007'''	0,0009'''
2000'''	9,030'''	0,0042'''
500'''	9,122'''	0,0169'''

also verbreitet sich der Zerstreuungskreis erst bei 2000''' oder beiläufig 14 Fuss Entfernung über 2 Zapfen der Netzhaut, und erreicht bei 500''' oder circa $3\frac{1}{2}$ Fuss erst die Breite von 8 Zapfen.

Die erwähnten Thatsachen mögen zunächst zu der Behauptung verleitet haben (Magendie, Ritter, Haldat, Adda, Engel), dass eine Änderung des brechenden Apparates zu dem Zwecke, um das Auge für alle Fernen einzustellen, eine willkürliche Accomodation überflüssig sei, und auch gar nicht vorkomme. Es sprechen aber gerade diese Thatsachen unwiderleglich für die Nothwendigkeit einer willkürlichen Accomodation, obgleich sie gleichzeitig lehren, dass das Bedürfniss einer Änderung in der Einstellung des Auges für ein Object doch erst bei 12—14 Fuss Entfernung dieses Objectes eintrete.

§. 18. Abstrahiren wir nun vor der Hand von der willkürlichen

Accomodation, und betrachten die dioptrische Function für sich, den Ruhezustand des Auges, so lassen sich die von uns aus dem reducirten Auge in obiger Tabelle berechneten Werthe für die Bildweite p^* bei bestimmten Objectfernen p als die Normalwerthe auffassen (Ausdrücklich sei zur Verständigung bemerkt, dass die Berechnung von der willkürlichen Annahme der normalen Augenaxe mit 10,1000‴ ausgehe, und nur als Beispiel gelte, jedenfalls aber sich nicht weit von dem, übrigens sehr variablen wahren Werthe entfernen dürfte.) — Sie resultiren aus einem constanten unveränderten Werthe des Brechungsindex, der Krümmung und des Abstandes (corpus) der brechenden Mittel des Auges, demnach aus einer unveränderten, oder normalen mittleren Stellung der optischen Cardinalpunkte. Unter diesen Verhältnissen muss auch der hintere Brennpunkt mit der Ebene der Netzhaut zusammenfallen, und je nach der Entfernung eines Objectes. und der dadurch gesetzten Bildweite, das Bild des Objektes (ohne Rücksicht auf die willkürliche Accomodation) entweder scharf oder in Zerstreuungskreisen von einem bestimmten Durchmesser auf der Retina projicirt werden. Das Sehen mit oder ohne Zerstreuungskreisen hängt in solchem Falle lediglich von dem Werthe der Objectferne ab.

§. 19. Eine Vergrösserung oder Verminderung der Normalwerthe für die Bildweite und der damit gegebenen Änderungen der Grenzen des Deutlichsehens im Ruhezustande des Auges involvirt nothwendig eine Krankheit. Man kann im Allgemeinen die Vergrösserung jener Werthe als Presbyopie, die Verminderung als Myopie bezeichnen.

Hier fällt jedoch sogleich auf, dass eine doppelte Form der Myopie sowohl als Presbyopie zu unterscheiden sei. Bei der ersten Form erscheint die Bildweite absolut vermehrt oder vermindert wegen einer adäquaten Änderung der Werthe der optischen Cardinalpunkte. Diese Änderung kann, da sie eine Function sowohl des Brechungsindex und Dicke der brechenden Medien ist, aus sehr verschiedenen Ursachen hervorgehen. In allen aber muss nothwendig der hintere Brennpunkt seine Beziehungen zur Retinalebene ändern; er rückt entweder vor oder hinter dieselbe, während die optische Axe keine Änderung in ihrem Normalwerthe erfahren hat.

Bei der zweiten Form zeigen dagegen die optischen Cardinalpunkte keine Änderung ihrer normalen Werthe, die hintere Brenn-

aber fällt mit der Retinalebene nicht zusammen, weil diese sich

zunächst entweder vor oder hinter den Brennpunkt verschoben hat. Man kann diese beiden Formen als Myopie oder Presbyopie durch Verschiebung des hinteren Brennpunktes, und als solche durch Verschiebung der Retinalebene bezeichnen. Die Verschiebung des Brennpunktes ist in letzterem Falle bloss scheinbar, relativ. — Die Möglichkeit letzterer Form wird wohl vom optischen Standpunkte aus nicht bezweifelt werden können; denn eine Vergrösserung oder Abnahme des Glaskörpers in seinem hinteren Abschnitte, und damit eine Verlängerung oder Verkürzung der optischen Axe kann sehr wohl gedacht werden, ohne die geringste Änderung der refractorischen Verhältnisse in den übrigen dioptrischen Medien, und wenn dabei der Brechungsindex des corpus vitreum sich nicht ändert, so wird, da eben der Glaskörper das letzte brechende Mittel ist, die Richtung des zuletzt gebrochenen Strahles in diesem Mittel, mag es auch welche Dicke immer haben, ungeändert bleiben müssen.

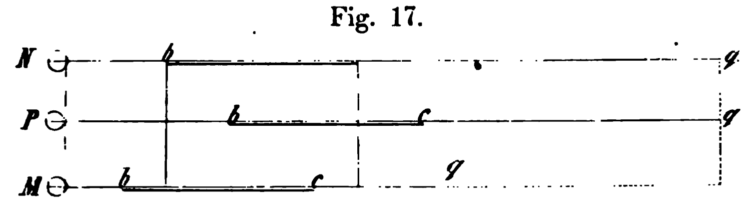
Bei allen diesen Krankheitsformen ist nun zunächst denkbar (und nicht genügend gewürdigt), dass die motorische Einstellungsfunction, das willkührliche Accomodationsvermögen an sich keine Einschränkung des Umfanges der Wirksamkeit erfahren haben könne. Da aber der Grad der Correction, welcher durch diese motorische Function erreicht wird, nicht mit normalen, sondern abnormen refractorischen Verhältnissen des Auges zusammenfällt, so ist erklärlich, dass auch die musculare Thätigkeit eine abnorme Aufgabe übernehmen müsse, der sie über gewisse Gränzen hinaus nicht genügen kann. Wenn z. B. bei normalem Baue des Auges (Brennweite von 9‴), und einer Objectferne von 100‴ die Bildweite 0,646‴ hinter die Retina fällt, so bedarf es eines bestimmten Masses von Muskelthätigkeit, damit durch Änderung in dem Krümmungsradius der Linse die Bildweite um 0,646‴ nach vorwärts verschoben, und das Object deutlich gesehen werde. Ist dagegen die Retina um 1‴ nach vorn verschoben, so fiele für eine Objectferne von 100‴ die Bildweite 1,646‴ hinter die Retina, und es würde wahrscheinlich die äusserste Anspruchnahme der Thätigkeit des sonst normalen Accomodationsmuskels nicht hinreichen, das Bild 1,646‴ nach vorwärts zu verschieben. Es wird dagegen wieder Fälle von Refractionsanomalien geben, welche für gewisse Objectfernen die willkürliche Accomodation in viel geringerem Masse, als es sonst die Norm erheischt, in Anspruch nehmen.

Wenn aus solcher Aenderung der Verhältnisse der Accomodations-

function zu dem dioptrischen Baue des Auges endlich Störungen i der Thätigkeit des Accomodationsmuskels selbst resultiren, so dar doch nicht vergessen werden, dass diese Störungen zum Wesen de Krankheit eigentlich nicht gehören, sondern nur eine secundäre Er scheinung derselben sind. Die Thätigkeit des Accomodationsmuskel wird nur dann in Anspruch genommen, wenn die Vereinigungsweit von Lichtstrahlen im Auge hinter die Netzhautebene fällt. Der Muske übernimmt sodann die Aufgabe, das Bild nach vorwärts zu verschieben d. i. die Bildweite zu verkürzen. Er wird demnach bei myopischen Baue des Auges im Allgemeinen auch für die Betrachtung nähere Objecte ruhen, und erst dann, wenn ein Object so sehr nahe an da Auge herankommt, dass seine Bildweite hinter die Retina fiele, di Wirksamkeit beginnen, deren Gränzen daher auch über kürzere Ob jectfernen sich ausdehnen werden. Bei Presbyopie dagegen wird sic das Bedürfniss nach muscularer Accomodationsthätigkeit schon fü fernere Objecte früher als gewöhnlich herausstellen, und die Gränze dieser Thätigkeit sich daher vom Auge entfernen.

§. 20. Es lässt sich das Verhältniss normaler Augen zu weit- un kurzsichtigen, und die Gränzen ihrer Einstellung im Ruhezustande un bei willkürlicher Accomodation durch 3 Linien Fig. 17 anschaulic

Fig. 17.



machen. Es sei in N ein normales Auge; seine Sehweite $N\ q$ reicl in die unendliche Ferne q hinaus. Nähert sich ein Object bis c, so mu in diesem Punkte die Thätigkeit des Accomodationsmuskels beginne und reicht bis zur Objectferne b aus. Von b bis N kann das Aug nicht mehr deutlich sehen. — In $P\ q$ ist die Sehlinie eines Weitsicl tigen dargestellt; sie reicht gleichfalls in die unendliche Ferne q. I c muss bereits die Accomodationsfunction beginnen, und reicht bis l für Objectfernen von b bis P ist das Auge nicht einstellbar. — I $M\ q$ ist endlich die Sehlinie eines Myopikers. In einem endliche Punkte q beginnt deutliches Sehen ohne Anspruchnahme der Accom dation, und reicht bis c. Von c bis b ist das Auge willkürlich ei stellbar. Von b bis M ist kein deutliches Sehen mehr möglich.

Die Einbusse an Sehferne ist also bei einem Myopiker stets sel

bedeutend; er gewinnt aber ein Geringes an Sehnähe. Bei Presbyopie ist dagegen ein Verlust an Sehnähe, aber keinerlei Einbusse an Sehferne. Das Bereich der willkürlichen Accomodation ist erhalten, nur bei Myopie näher an das Auge, bei Presbyopie vom Auge verschoben. — Es bedarf wohl keiner weiteren Auseinandersetzung, dass weil die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen um so rascher wächst, je näher ein Object dem Auge gerückt wird, die Linie *c b* sich für Myopiker und Presbyopiker gegen jene bei Normalsichtigen nach *b* mehr verkürzen müsse. Die Differenz wird aber nur bei den höchsten Graden dieser Refractionsfehler beträchtlich sein, und eine stärkere Entwikelung des Accomodationsmuskels wird für Myopiker und Presbyopiker den Nahepunkt des deutlichen Sehens im Allgemeinen dem Auge noch näher zu rücken vermögen.

Man sieht ferner, dass, wenn in einem Auge von normalem Baue *N* der Accomodationsmuskel untüchtig wird, demnach das deutliche Sehbereich *c b* verloren geht (Asthenopie), der innere Grenzpunkt des deutlichen Sehens nach *c* rücke; ein Gleiches geschieht bei Myopie und Presbyopie. Der Presbyopiker wird dann noch fernsichtiger, weil sein Nahepunkt sich weiter vom Auge entfernt. Das Sehbereich des Myopikers wird aber dann ganz besonders auf eine kurze Linie *q c* eingeengt, deren innerer Grenzpunkt verhältnissmässig weiter vom Auge absteht. — Die Bestimmung des vorderen Grenzpunktes *c* der willkürlichen Accomodation ist auf dem Wege der Messung nicht möglich; denn hier beginnt die musculare Thätigkeit und Wirkung mit einer unmerklich kleinen Kraftäusserung, welche erst im Punkte *b* ihr höchstes Mass erreicht.

§. 21. Obwohl die Ursachen der Refractionsfehler, namentlich jener, welche auf einer Änderung der dioptrischen Constanten des Auges beruhen, sehr mannigfaltig sind, so scheint es doch, dass dieselben nnr selten zur Myopie oder Presbyopie führen. Vielmehr gewinnt die Überzeugung immer mehr Raum, dass die gewöhnlichen Fälle dieser Krankheiten der von uns erwähnten zweiten Form zugehören, bei welcher Störungen der Einstellungsfunction des Auges zunächst aus einer Verlängerung oder Verkürzung der Augenaxe, und dadurch bedingter relativer Grössenanomalie der Bildweite hervorgehen. Die Mehrzahl der Fälle von Myopie beruht demnach auf einer Verlängerung, jene der Presbyopie auf einer Verkürzung der Augenaxe, welche aber nicht sowohl das Resultat einer Zu- oder Abnahme der Dicke der Kammer oder Linse ist, sondern wesentlich auf einer Vo-

lumszunahme oder Abnahme des Glaskörpers beruht. Diess gilt nun namentlich bezüglich der Myopie, welche das Staphyloma sclerae posticum gewöhnlich begleitet.

Es lässt sich durch Rechnung leicht nachweisen, welchen Grad von Verlängerung die optische Axe bei unveränderter Lage der Constanten haben müsse, wenn die Verkürzung der Sehweite (der Fernpunkt des deutlichen Sehens von q bis zur Vorderfläche der Hornhaut des Auges M in Fig. 17) einen bestimmten, leicht messbaren Werth erreicht hat. Zehender gibt hiefür folgende Tabelle:

Sehweite	Länge der optischen Axe.
∞	10,1000 Linien
50 Fuss	10.1082 „
12 „	10,1350 „
6 „	10,1702 „
3 „	10,2415 „
2 „	10,3137 „
1 „	10,5363 „
8 Zoll	10,7685 „
6 „	11,0108 „
5 „	11,2125 „
4 „	11,5289 „
3 „	12,0967 „
2 „	13,4132 „

Für noch kürzere Sehweiten wächst die nothwendige Länge der optischen Axe in immer rascherem Verhältnisse. Bei einer Objectferne von 1 Zoll müsste die optische Axe über 21‴, bei solcher von 8‴ bereits über 56‴ lang, endlich bei 6,7″ Objectsdistanz das Auge unendlich gross sein, um das Object deutlich zu sehen. Die excessivsten Fälle von Staphyloma posticum haben bisher nur eine Vergrösserung des Axendurchmessers um $^3/_5$, somit einen Werth der optischen Axe von beiläufig 16‴ nachgewiesen. Obwohl in solchen Fällen unzweifelhaft bereits mehrfache Störungen der Retinalenergie sich gewöhnlich combiniren, so ist es doch nicht unmöglich, dass die Sehweite eines Myopikers bis auf $1^1/_2$ Zoll verkürzt vorkommen könne. Noch kleinere Werthe derselben sind jedoch nicht wahrscheinlich, ja unter 1 Zoll wird die Sehweite aus dem Grunde niemals sinken, weil die optische Axe niemals ohne völligem Zugrundegehen aller Retinalenergie die hiezu erforderliche Länge erreichen kann. Es gilt diess nun freilich nur für jene Fälle, welche als reine Formen der Myopie

durch Staphyloma posticum aufzufassen sind. Wo die Refractionsanomalie des Auges nicht allein sich als Axenverlängerung ausspricht, sondern noch gleichzeitig Aenderungen in dem Werthe der optischen Constanten vorkommen, müssen sich ganz andere Werthe für die Sehweite ergeben. Sind die Brennweiten des Auges an sich verkürzt, so müssen auch schon bei sehr geringen Graden der Axenverlängerung excessive Grade von Myopie zu Stande kommen; wo dagegen die Brennweiten des Auges verlängert sind, werden je nach der Lage der Cardinalpunkte auch beträchtliche Axenverlängerungen nur zu sehr niederen Graden der Myopie führen. Da nun die Ursachen der Refractionsfehler des ersten Grades so äusserst mannigfaltig und der Untersuchung nur sehr schwer zugänglich sind, so kann in Fällen von Staphyloma posticum doch oft genug mindestens eine oder die andere dieser Ursachen mit wirksam und dadurch die Lage der optischen Constanten geändert sein; es würde daher gewagt erscheinen, aus der Ziffer der Sehweite eines Kranken, der an Staphyloma posticum leidet, einen bestimmten Schluss auf den Grad der Verlängerung seiner Augenaxe zu ziehen.

§. 22. Ätiologie des Staphyloma sclerae posticum.

Dass die Myopie ihren Grund in der Verlängerung der Augenaxe habe, ist schon frühe hervorgehoben worden. So sagt H. Boerhaave (praelect. de morb ocul. Gotting, 1746, pag. 174): nimia oculi longitudo facit myopiam. Hinc infantes omnes myopes sunt, quando tenelli hactenus caput habent oblongum. Longior autem oculus fieri potest per inflammationes, compressiones, scirrhosos tumores, ab iis enim poterit comprimi ita ut elongetur. Ex his etiam patet, auctores qui causam myopiae in crassitie corneæ unice posuerunt, nullatenus nobis satis fecisse. — Beer (Lehre von den Augenkrankheiten, 1817) wusste, dass der Augapfel bei der Myopie zuweilen unverhältnissmässig glotze, gross und lang sei, so dass er von den Lidern kaum bedekt werden kann. Er leitete das Entstehen dieser Axenverlängerung vom Druke der obliqui her, und gab ferner zu, dass sie auch Produkt fehlerhafter Bildung sein könne. Die Verlängerung der Augenaxe in Folge von Staphyloma posticum hat jedoch zuerst Scarpa anatomisch nachgewiesen (tratt. degl. princip. mallat. d. occhi. Pavia, 1801). Er beschreibt zwei Fälle bei Frauen von 35 und 40 Jahren, von denen die eine das Gesicht schon einige Jahre vor dem Tode durch eine Augenentzündung verloren hatte. Über das Sehvermögen der zweiten hat Scarpa nichts erfahren. Die Abbildung beider Fälle ist unserer Fig. 11 ähnlich. Bezüg-

lich der Genese der Krankheit verwies Scarpa auf weitere Beobachtungen. — Anlässlich eines Falles von Hydrophthalmus mit Staphyloma posticum bemerkte v. Ammon (Zeitsch. f. Ophth. 1832) bereits, dass das Staphyloma posticum Scarpae durchaus keine so seltene Krankheit sei, als man gewöhnlich glaube; von allen Stellen der Sklera sei die im Mittelpunkte des Fundus gelegene jene, welche zur Ausdehnung am meisten geneigt sei. Die Beobachtungen dieser Krankheitsform wurden auch in der That immer häufiger; aber erst Ritterich hat durch die Section (1839) die Dimension des Auges bei einem Kurzsichtigen constatirt, und neuerlich hat Arlt (1856) mehrere Sectionen myopischer Augen mit manifester Verlängerung der Bulbusaxe auf Kosten der hinteren Wand geliefert. Das Ophthalmoskop hat zunächst den unumstösslichen Beweis geliefert, dass in der That die überwiegend häufigsten Fälle der Myopie mit der Entwikelung des Staphyloma posticum Hand in Hand gehen. Dass dieses in einer Ausdehnung der hinteren Bulbuswand bestehe, ist anatomisch feststehend. Worin aber die Skleralektasie ihren eigentlichen Grund habe, darüber wird noch mehrfach gestritten. — Die Resistenzverminderung der Augenkapsel wird aber nur entweder in einer angeborenen Verdünnung der Sklera, oder in einer durch das jugendliche Alter bedingten Weichheit des Gewebes, welches bei Erhöhung des hydrostatischen Drukes und Richtung desselben gerade gegen den hinteren Pol des Auges leicht nachgibt, oder gar in congestiven, selbst entzündlichen Stasen gesucht werden können.

1. Die Erblichkeit der Myopie unterliegt bei einer genaueren Prüfung keinem Zweifel. Jüngken (Lehre v. d. Augenkrankheiten, 1832) und Böhm sprechen sich namentlich hierüber mit Entschiedenheit aus. Mag auch Böhm (der Nystagmus. Berlin, 1857) vielleicht zu weit gehen, wenn er behauptet, dass unter 20 Fällen etwa 19 ererbter Natur sind, so ist doch das ätiologische Moment der Erblichkeit in vielen Fällen unverkennbar. Wenn die Erscheinungen meist erst im späteren Kindesalter markant hervortreten, so ändert das an der Sache doch Nichts. Böhm stellt in dieser Beziehung Gesetze auf, mit denen meine sorgfältigen Untersuchungen dieser Krankheit vollkommen übereinstimmen. Sind beide Eltern myopisch, so werden es auch die meisten Kinder. Die, welche freibleiben, haben es nur dem gesunden Theile ihrer Voreltern zu danken. Aber sie tragen die Myopie latent, und werden den Fehler bei einem Theile ihrer Kinder wieder zu gewärtigen haben. — *Ist eines* der Eltern myopisch, so wird doch bei einem Theile der

Kinder die Myopie hervortreten, und in dieser Beziehung habe ich beobachtet, dass namentlich die ersten Kinder gesund bleiben, während die späteren meist an immer höheren Graden der Myopie leiden. — Waren die Voreltern myopisch, so leidet doch ein oder das andere der Kinder gesunder Eltern wieder an Myopie, aber im Allgemeinen an niederen Graden. Manifeste Skleralstaphylome liegen der ererbten Myopie zu Grunde, und ein angeborener Formfehler des Bulbus muss im solchen Fällen supponirt werden.

2. Die Myopie kann ferner angeboren sein, ohne gleichzeitig ererbt sein zu müssen. Mindestens kann die Disposition in einem fehlerhaften Baue des Auges liegen. Die Möglichkeit dieses ätiologischen Momentes wird von Niemandem geradezu in Abrede gestellt. Hiefür sprechen namentlich die Beobachtungen von Skleralstaphylom als Folge des Zurückbleibens der protuberantia scleroticae foetalis. Die Krankheit ist dann das Resultat einer Entwikelungshemmung der Sklera. Es ist allerdings schwer, diess ätiologische Moment immer bestimmt nachzuweisen. Dasselbe scheint aber doch am häufigsten dem Staphyloma posticum zu Grunde zu liegen, und wird diese Ansicht einestheils durch die fötale Entwikelung der Sklera gestützt, anderntheils durch die nicht so seltenen Fälle von hochgradiger Myopie bei Individuen in früher Kindheit, deren Augen nicht jenen Schädlichkeiten ausgesetzt wurden, welche sonst als begünstigend für die Axenverlängerung des Auges angesehen werden. Man beobachtet freilich die Myopie meist erst im 7.—8. Lebensjahre, d. h. die Erscheinungen treten in dieser Lebensperiode bereits in so hohem Grade auf, dass die Hilfe des Arztes dagegen angesprochen wird. Die Krankheit ist aber gewiss in der Regel bereits früher vorhanden, nur wird sie, weil die Schweite des Patienten noch nicht in höherem Grade verkürzt und ausreichend lang ist, die Sehkraft übrigens bei kleinen Kindern nicht im hohen Grade angespannt wird, gewöhnlich nicht gewürdigt. Ich habe schon bei mehreren 5jährigen Kindern eklatante Skleralstaphylome mit dem Ophthalmoskop constatirt, und erinnere mich, selbst an Myopie leidend, sehr wohl, dass ich beim ersten Theaterbesuche als Kind von 4 — 5 Jahren bei gespanntester Aufmerksamkeit die kleineren Details auf der Bühne doch nicht deutlich zu sehen im Stande war.

3. Mehrfach sind die Ursachen, welche bei gegebener Disposition des Auges die Entwikelung und Steigerung der Myopie veranlassen. Dass aber in jedem Falle hochgradiger Axenverlängerung

des Auges jene angeborene Disposition gegeben sein müsse, ist namentlich nach den Erfahrungen über ererbte Myopie höchst wahrscheinlich. Die grössere Succulenz der Sclerotica im jugendlichen Alter könnte allerdings selbst einige Disposition zur Ausdehnung derselben abgeben (Arlt: Die Krankheiten des Auges, Prag, 1856). Aber wenn die Weichheit der Sklera im Jugendalter schon hinreichen würde, um bei stärkerer Anspruchnahme des Auges für die Nähe durch den Druk der Augenmuskeln Axenverlängerung und daher Myopie zu erzeugen, so müssten ja alle Kinder, deren Augen vom 7. Lebensjahre an stärker angestrengt werden, myopisch werden. Warum werden sogar von mehreren Kindern derselben Familie, die gleiche Erziehung geniessen, oft nur einige myopisch, während die anderen das schärfste Gesicht behalten?

Anhaltende Betrachtung kleiner Objekte mit Ausspruchnahme der Accomodation im jugendlichen Alter ist im Allgemeinen eine wichtige und häufige Veranlassung zur Entwikelung der Myopie. Man sieht dieselbe daher auch häufiger bei Knaben, in den ersten Jahren des Schulbesuches, als Mädchen. Die Erscheinungen treten am meisten zwischen dem 6.—15. Lebensjahre auf. Nach einer mehrjährigen Durchsicht sind es vorzüglich Knaben im 13.—16. Lebensjahre, welche mir zugeführt werden, bei denen meist die ersten Anfänge der Krankheit schwer zu eruiren sind, sich aber doch in der Regel in frühere Kindheitsperioden verfolgen lassen. Die Fälle einer plötzlichen oder doch raschen Entwikelung der Myopie im männlichen Alter lassen sich meist auf Steigerung einer bereits lange vorhandenen niedergradigen Myopie zurückführen. Ferner entwikelt sie sich manchmal, aber durchaus nicht constant bei Jenen, welche an centralen Hornhaut- oder Linsentrübungen leiden, weil im Allgemeinen auch bei diesen Individuen die Accomodation für die Nähe mehr in Anspruch genommen wird. Vorzüglich kommt die Myopie oft rasch zu Stande bei Kindern im Reconvalescenzstadium nach acuten Exanthemen, Darmkatarrhen, fieberhaften Krankheiten überhaupt. Dunkles Haar und braune Iris kommt bei Myopie häufiger vor, als helle Farbe derselben. Man findet die Myopie relativ viel häufiger in den höheren als niederen Ständen.

In Schulen, namentlich in den höheren findet man die Myopie häufig. In Oxford fand Ware unter 127 Studenten 37, welche Concavgläser trugen, während von 10000 Soldaten der Leibgarde keiner genöthigt war, Brillen zu tragen. In Baden ergaben ämtliche Er-

hebungen unter 2172 Schülern der gelehrten Schulen 392 Kurzsichtige, also 1: 5,5, unter 930 Schülern der höheren Bürgerschulen aber blos 46, also nahe 1 : 20. Szokalski (Prager Vierteljahrsch. 17. Bd.) fand unter 807 Schülern des Gymnasium Charlemagne in Paris 89 Myopiker, also 1 : 9. Unter 170 Zöglingen des Collège Louis le Grand 25 Kurzsichtige, also 1 : 7. Unter 6300 Kindern der Elementarschulen fand Szokalski dagegen kein einziges kurzsichtiges (??). Interessant ist die Beobachtung der Zunahme der Myopie in den höheren Schulen des Gymnasiums. Szokalski fand:

in	der	2.	Klasse	1	Myopiker	auf	21	Schüler
„	„	3.	„	1	„	„	31	„
„	„	4.	„	1	„	„	21	„
„	„	5.	„	1	„	„	14	„
„	„	6.	„	1	„	„	11	„
„	„	7.	„	1	„	„	8	„
„	„	8.	„	1	„	„	9	„
„	„	9	„	1	„	„	2	„

Es ergibt sich aus diesen Thatsachen mit Wahrscheinlichkeit, dass einestheils die starke Ansprüchnahme des Sehorgans überhaupt bei Tag und Nacht, anderntheils aber auch die fehlerhafte Verwendung desselben durch ungenügendes Licht, anhaltende Accomodation für die Nähe, ferner die Störungen in der Entwikelung des Organismus überhaupt, welche aus übermässiger geistiger Anstrengung, sitzender Lebensweise, Stubenluft u. a. resultiren, als Factoren bei der Entwikelung der Myopie zu betrachten sein dürften.

Entzündliche Zustände des Bulbus lassen sich als veranlassendes Moment der Myopie und Staphyloma posticum nicht wohl nachweisen, obgleich sie, wie oben bereits erwähnt, bei höheren Graden dieser Krankheit nicht selten hinzutreten. v. Gräfe (Archiv. 1854) sucht das Wesen des Staphyloma posticum in einem Entzündungsprozesse der Sklera und Chorioidea (Scleroticochorioiditis posterior), gesteht aber selbst, dass es „eigentlich an Entzündungsprodukten in beiden Membranen fehle."

Congestive Leiden des Bulbus hat man mehrfach als die Ursache der Myopie beschuldigt; (Jüngken u. a. sehen im Blutandrange gegen den Kopf, veranlasst durch sitzende Lebensweise, vorgebeugte Haltung des Kopfes u. s. w. prädisponirende Momente). Aber es wird nicht angeführt, auf welche Weise hier Myopie resultire. Weder re-

tinale, noch chorioidale Congestivleiden führen doch erfahrungsge mäss zur Myopie, eben so wenig Iritis, Keratitis u. s. w.

§. 23. Entwikelung und Verlauf.

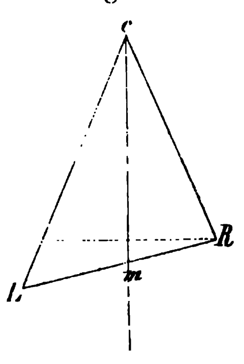
Nach dem bereits Erörterten fällt die Entwikelung der Myopi in die Jahre der Jugend vom 6.—15. Lebensjahre. Die ange führten Verhältnisse der allmäligen Verkürzung des Fernpunktes und der Umstand, dass das Sehen ferner Objecte in Zerstreuungskreisen so lange diese Kreise keinen beträchtlichen Durchmesser haben, vo den Kranken nicht wesentlich beachtet wird, macht es aber erklärlich dass die ersten Anfänge der Myopie der Beobachtung entgehen. Di Symptome der Myopie erfahren im jugendlichen Alter meist eine ste tige, von Jahr zu Jahr sichtlicher werdende Steigerung, bis sie mi der vollen Entwikelung des Organismus im 17.—20. Jahre stille steht und in späteren Jahren nur selten höhere Entwikelungsgrade erreicht Die Myopie erfährt aber auch nur selten, und diess meist nur be niederen Graden einen Rückgang; gänzliche Heilung ist bisher mi Bestimmtheit nicht nachgewiesen. Die Myopie kann auf allen Ent wikelungsstadien stehen bleiben. Doch lassen sich vom praktische Gesichtspunkte aus mit ziemlicher Strenge folgende gradweis unter schiedene Formen feststellen.

1. Niederer Grad von Myopie. Die Sehweite Mq (s. Fig. 17 wobei q den Fernpunkt des deutlichen Sehens bedeutet, geht in end liche Ferne, und kann bis auf beiläufig $1\frac{1}{2}$ Fuss, selbst 16, 14, 1 Zoll verkürzt erscheinen. Der Nahepunkt b liegt gleichfalls de Auge näher, und kann $bM = 4''$ und noch kleiner werden. Bei die ser Form von Myopie ist das Binocularsehen für die Nähe ungestör Lecture, feinere Handarbeit u. s. w. ist ohne Brillen gestattet. D Kranken benöthigen Dispansivbrillen nur für die Ferne. In der En wikelungsepoche der Myopie, im Jugendalter werden zwar manchm Reizzustände des Auges beobachtet, Retinalerethismus, Asthenopie u. s. w sie sind meist aber bald vorübergehend. Sobald die Myopie ständi geworden, in den Mannesjahren, sind solche Augen im Allgemeine ausdauernd bei der Arbeit, ja sie vertragen anhaltende Beschäftigun in der Nähe noch viel besser, als ein normalsichtiges Auge. I dauern solche Augen sogar bis in das späteste Alter. Ich ken solche jüngere Myopiker und selbst Greise über 70 Jahre, welc ohne Ermüdung viele Stunden des Tages arbeiten, bis in die tie Nacht lesen, und [illegible] Lebenszeit hindurch doch üb keinerlei [illegible] sung hatten.

In diesem Stadium der Myopie ist, wohl nicht Heilung, aber doch Besserung keine Seltenheit. Selbst in jüngeren Jahren kann man manchmal beobachten, dass, wenn die Patienten den Beruf ändern, und das Auge nicht mehr dauernd für die Betrachtung naher Objekte intendirt wird, die Myopie bald merklich zurückschreitet. Bei mehreren Kranken meiner Beobachtung, welche als Studenten an Myopie des ersten Grades litten, hat, da sie nach absolvirten Studien sich der Landwirthschaft zuwendeten, im Laufe weniger Jahre deren Sehweite sich so sehr gebessert, dass sie vortreffliche Schützen wurden. Im höheren Alter bessert sich diese Form der Myopie oft der Art, das die Kranken nunmehr für die Ferne Concavbrillen entbehren können. Zugleich haben sie den Vortheil, zum Nahesehen, Lesen u. s. w. keine Convexbrillen zu benöthigen. Es liegt aber eben in letzterem Umstande ein Beweis, dass die Formveränderung des Bulbus bei Myopie im höheren Alter doch nicht behoben werde; denn alle Jene, welche früher ein normales Gesicht hatten, werden doch mindestens nach dem 50. Lebensjahre weitsichtig, und benöthigen zum Lesen eine Convexbrille. Myopiker aber, deren Sehkraft im Alter sich bessert, brauchen in der Regel bis in das späteste Alter durchaus keine Convexbrille zum Nahesehen.

2. Bei dem zweiten Grade der Myopie beträgt der Fernpunkt 12—5 Zoll, der Nahepunkt bis 3 Zoll. Das Binocularsehen ist im Allgemeinen auch für die Nähe gestört. Bei den niederen Formen dieses Grades (Sehweite 12—8 Zoll) vermögen die Kranken zwar noch Objekte in dieser Entfernung binocular zu fixiren, aber nicht dauernd. Die stärkere Anspruchnahme der Augenmuskeln veranlasst baldige Ermüdung, und es übernimmt daher dann gewöhnlich ein Auge, das stärkere, die Fixation, während das andere zur Ruhe geht. Bald gewöhnen solche Patienten, blos monocular zu fixiren. Ist die Sehweite ungleich, dann wenden die Kranken oft jene Seite des Kopfes, welche dem kurzichtigeren Auge entspricht, dem Objecte zu, um binocular länger fixiren zu können, und gewöhnen sich so an eine schiefe Kopfhaltung, welche von Eltern und Lehrern bei Kindern oft getadelt wird, und doch als das Resultat eines instinctiven Bestrebens, die beste Art des Binocularsehens zu ermöglichen, eigentlich keinen Tadel verdient. Ist in Fig. 18 ein Fixirobject in o, und Ro die kürzere Sehweite des rechten, Lo die längere des lin-

Fig. 18.



ken Auges, so wird im Allgemeinen bei gleicher Anspruchnahme der willkürlichen Accomodationskraft eine Fixation des Objectes *o* mit beiden Augen nur unter der Bedingung möglich sein, wenn der Patient sein rechtes Auge dem Objecte mehr nähert, als das linke, wobei der Neigungswinkel der Abstandslinie der Drehpunkte *R L* zur Medianebene *m o* ein spitziger werden muss, d. h. das Gesicht erfährt eine seitliche Wendung. Wenn die Sehweite bei den Myopikern weniger als 8″ beträgt, dann ist ein dauerndes Binocularsehen ganz unmöglich. Bei der Fixation eines nahen Objektes tritt bald Doppelsehen auf, welches die Kranken nöthigt, ein Auge zu schliessen: daher gewöhnen sie sich, monoculär zu fixiren. Wollen sie ein längeres Binocularsehen erzwingen, so „übergehen“ die Augen. Gefühl von Druck, Kopfschmerz stellt sich ein, und macht die Fortsetzung der Arbeit unmöglich.

Es gibt nur wenige Myopiker dieses Grades, bei denen nicht in der Jugend, namentlich in der Pubertätsperiode sehr belästigende Reizphänomene des Auges vorkämen. In dieser Epoche erfährt zunächst die Myopie eine rasche Steigerung Die Patienten, welche in der Kindheit (vom 6., 12., 13., 14. Jahre) an den Symptomen der Myopie des ersten Grades litten, und z. B. Concavbrillen Nr. 24—16 benöthigten müssen oft im Laufe mehrerer Monate zu Nr. 14, 12, 8 übergehen, wenn sie in die Ferne deutlich sehen wollen. Dabei treten die Erscheinungen von Chorioidalcongestion, namentlich aber von Retinalcongestion gewöhnlich auf, und dauern oft durch mehrere Jahre, namentlich wo die Intention der Sehkraft für die Nähe nicht vermieden werden kann. Bei vielen Kranken entwikeln sich entoptische Erscheinungen, und die objektiven Symptome der Myopie (Prominenz des Bulbus) treten ziemlich markant hervor. Solche Kranke benöthigen schon fürs Nahesehen Brillen, und wenn das Auge zweckmässig in Anspruch genommen wird, so treten im Allgemeinen mit dem Mannesalter die Reizphänomene desselben zurück, und nur der Refractionsfehler bleibt dauernd. Einen Rückgang der Myopie habe ich bei diesem Grade auch in späteren Jahren nicht beobachtet. Zuweilen entwikelt sich bei diesen Kranken, namentlich jenen, welche länger an Chorioidalcongestionen gelitten haben, und deren Augen viel in Anspruch genommen wurden, in späteren Jahren Cataract, namentlich Corticalstaar.

3. Beim dritten Grade der Myopie beträgt der Fernpunkt des deutliche[illegible] Zoll, der Nahepunkt 3-2 Zoll. Das Sehbe[illegible] nie ist also auf den Raum von 2—1 Zoll

eingeengt; das Binocularsehen ist absolut unmöglich. Nur bei beträchtlicher Annäherung an das Auge vermögen solche Patienten ein Object deutlich zu sehen. Beim Lesen stecken sie so zu sagen den Kopf in das Buch. Ihre Bulbi glotzen meist auffallend, ihre Sehaxen convergiren beträchtlich, der Blick hat etwas Steifes, Starres (die Unsicherheit des Sehens macht solche Patienten meist in sich gekehrt, schüchtern, aber dabei pflegen sie schon als Kinder, — da sich die Myopie frühe entwikelt, und rasch mindestens bis zum zweiten Grade steigt, daher die Patienten mehr auf die Betrachtung naher Objecte angewiesen sind — sehr lernbegierig zu sein, lieben die Betrachtung kleiner Objecte, jede Blüthe, jeder Käfer macht ihnen Freude, sie zeichnen, malen, lesen gern). Es treten schon in der frühen Jugend bei diesen Myopikern Reizphänomene des Auges auf. Es sind nur wenige Individuen, bei denen selbst in späteren Jahren das Auge bei Arbeit ausdauernd wird und bleibt. Ich kenne freilich auch mehrere sehr tüchtige und emsige ältere Männer aus dem Gelehrtenstande, deren Augen trotz dieser hochgradigen Myopie bei anhaltender Arbeit immer ausgedauert haben). Die Mehrzahl aber acquirirt in späteren Jahren sehr beträchtliche Sehstörungen in Folge von den eben erwähnten Retinal- und Chorioidalleiden; namentlich kommt es zu Störungen des directen Sehens. Hintere Polarkatarakt entwikelt sich ferner nicht selten, und aus ihr Totalstaar.

4. Der vierte Grad des Staphyloma posticum geht mit einer so beträchtlichen Axenverlängerung des Augapfels einher, dass überhaupt ein deutliches Sehen bei keiner Objectsdistanz mehr möglich ist. Zugleich ist in solchen Fällen die Zerrung der Retina so beträchtlich, dass hieraus ein höherer Grad von Torpor derselben mit Nothwendigkeit resultirt Es kann diese Form von Staphylom schon in früher Jugend zur Entwikelung kommen; manchmal aber auch erst aus Myopie des zweiten und dritten Grades in späteren Jahren hervorgehen. Cataract, Glaskörperverflüssigung, Pigmentmetamorphose der Netzhaut, weitgediehene Maceration des Pigmentes der Chorioidea, Atrophie der Choriocapillaris, Colloidentartung derselben, Apoplexien der Chorioidea und Retina begleiten diesen Formfehler.

§. 24. Diagnose. Von Wichtigkeit ist die Rücksichtnahme auf die Symptome der Birnform des Auges, welche jedoch nur bei den höheren Graden auffallend hervortreten. Von der exophthalmischen Vortreibung des Bulbus unterscheidet sich das Glotzen desselben bei der Myopie dadurch, dass hier, sobald der Kranke das Auge stark

nach innen wendet, und ein grösserer Flächenbezirk der Sklera sichtbar wird, das steile Abfallen ihrer Seitenflächen, die Verflachung derselben, deutlich gesehen werden kann (Arlt). — Doch ist dies Symptom nicht immer ganz verlässlich. Es gibt Formen von exquisitem Staphyloma posticum, wo die Sklera im hintern Pole diverticulös ausgestülpt ist, ohne dass die Seitenflächen an der Formänderung betheiligt wären (Fig. 10 ein Staphyloma posticum annulare, wo die Axe *a c* verlängert erscheint, der Bulbus um die Linie *b c* nach vorne geschoben ist, glotzt, und die Verflachung der Seitenränder der Sklera doch nicht vorkommt.) — Myopiker blinzeln ferner (daher der Name Myops); ihre Sehaxen convergiren stets mehr als gewöhnlich. Die Iris steht tiefer, daher erscheint die Augenkammer vergrössert. Zur Herstellung der vollen Diagnose der Krankheit ist aber namentlich die ophthalmoskopische und optometrische Untersuchung des Auges nothwendig.

§. 25. Die Lehre vom Ophthalmoskop wird diesem Kapitel angeschlossen. Hier sei zunächst bemerkt, dass die ophthalmoskopische Diagnose des Staphyloma posticum im Allgemeinen ziemlich leicht ist. Der myopische Bau des Auges begünstigt vor allem die Untersuchung des Augengrundes im umgekehrten Bilde und erlaubt eine beträchtliche Annäherung an das kranke Auge. Der Augengrund ist ferner stark lichtreflectirend, und begünstiget so die Verhältnisse der Beleuchtung. Die pathologischen Veränderungen kommen endlich vorwaltend in der Circumferenz des Sehnerveneintrittes vor, welche Gegend mit dem Ophthalmoskop leicht aufzufinden ist. Beim Staphyloma circumscriptum laterale sieht man an der äussern Seite des optischen Nerven eine mondsichelartige weisse Figur, Fig 19, welche sich mit ihrer Concavität an den Nerven lehnt. Diese Figur hat bei höheren Graden der Entwikelung der Krankheit nicht immer ihre regelmässige Form und Begrenzung, sondern verbreitet sich namentlich in der Richtung nach Aussen, wohl auch zuweilen nach Oben und Unten, wodurch zakige Vorsprünge entstehen. Beim Staphyloma circumscriptum annulare Fig 20 ist die weisse Stelle rund um den optischen Nerven entwickelt. Ihr Rand zuweilen kreisförmig, meist jedoch unregelmässig buchtig. Um den Rand sind oft dunkle Pigmenthaufen zu sehen, manchmal auch noch mehrere kleine, hellweisse, inselförmige Stellen. Die Netzhautgefässe streichen

Fig. 19.



Fig. 20.



über die weissen Stellen hinweg; meist ist ihr Verlauf daselbst etwas gestrekt. Beim Staphyloma diffusum in beiden Formen erscheint die Papille in der Regel viel, selbst um die Hälfte, kleiner, ziemlich dunkel röthlich, und in ihrer Circumferenz, entweder rund um sie oder vorwaltend seitlich hochgradige Pigmentmaceration der Chorioidea, Rarefaction der Choriocapillaris, Blossliegen der vasa vorticosa, deren Zwischenräume erweitert sind, und das Weisse der Sklera durchschimmern lassen. Die ganze Partie ist daher heller Licht reflectirend, und in ihr die zierlichen, etwas auseinanderstehenden bandartigen vasa vorticosa in radiärer Richtung streichend, über diesen die Retinalgefässe von ihrem normalen Verlaufe nicht wesentlich abweichend; dabei gewahrt man nicht selten Glaskörperopacitäten und Linsentrübungen.

§. 26. Die Optometrie hat im weiteren Sinne die Aufgabe, eine Prüfung der Sehtüchtigkeit des Auges überhaupt vorzunehmen. Hierher gehört demnach die Erforschung des kleinsten Sehwinkels, der kleinsten sensoriellen Masseinheit, der Grenzen des Sehens in Zerstreuungskreisen, der Energie des Accomodationsmuskels, des Masses der Helligkeit, welche das Auge bedarf, der Schärfe des Farbenunterscheidungsvermögens, der Grösse des Gesichtsfeldes u. s. w. — Im engeren Sinne versteht man jedoch gewöhnlich unter Optometrie blos die annähernde Bestimmung der Grenzen des deutlichen Sehens mit alleiniger Berücksichtigung des Auftretens von Zerstreuungskreisen auf der Netzhaut. Wenn die von einem Punkte eines Objectes in das Auge gelangenden Lichtstrahlen sämmtlich wieder in einen Punkt vereinigt auf die Netzhaut fallen, so geben sie daselbst ein deutliches Bild. Fällt dieser Vereinigungspunkt vor oder hinter die Netzhautebene, so wird diese von einem Zerstreuungskreise getroffen. Es handelt sich also darum, den Umfang des Vermögens des Auges, ein scharfes Retinalbild zu Stande zu bringen, durch den Versuch zu bestimmen. Die Grenzen dieses Vermögens werden durch die Objectferne, bei welcher wir deutlich sehen, ziffermässig ausgedrükt werden können. Hier ist aber sogleich hervorzuheben, dass auch der optisch geforderte Vereinigungspunkt des Lichtes immer eine gewisse räumliche Ausdehnung habe, und dass die sensorielle Energie der Netzhaut, das Vermögen der räumlichen Sonderung derselben, auch eine bestimmte, endliche Grenze habe. Jeder Bildpunkt auf der Netzhaut wird demnach eigentlich ein kleines Flächenbild darstellen, und es scheint, als ob das gesunde menschliche Auge kaum kleinere

Retinalbilder räumlich gesondert aufzufassen vermochte, als solche von 0,002 Millim. Durchmesser. Vorausgesetzt nun, dass dieses Vermögen innerhalb gewisser Grenzen der Objectferne ungeschwächt vorhanden sèi, so lehrt doch die Erfahrung, dass wir in der That nur dann auch wirklich deutlich sehen (die Elemente des Bildes thatsächlich räumlich sondern), wenn die volle psychische Intention sich dem Sehsinne zuwendet, wenn die willkürliche Accomodation die geforderte Kraft entwikelt, wenn zudem auch das Retinalbild einen gewissen der sensoriellen Energie der Netzhaut adäquaten Grad von Helligkeit besitzt, und seine Elemente sich durch Farbenkontraste kennzeichnen, wenn das Bild ferner auf die Stelle des directen Sehens fällt u. s. w. Es ist einleuchtend, wie heikel die Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse, demnach wie schwierig ein exacter optometrischer Versuch selbst innerhalb der Grenzen des deutlichen Sehens sein müsse. Aber noch schwieriger wird dieser Versuch an den Grenzen des deutlichen Sehens und über diese hinaus, wo eine sensorielle Einheit nicht mehr von einem, sondern von immer mehreren Lichtstrahlenbündeln gleichzeitig getroffen wird, und daher immer verworrenere Retinalbilder dem Bewusstsein zugeführt werden Auch hier werden die Factoren der psychischen Intention, des Contrastes und der Helligkeit wesentlich beim Sehakte mitwirken, und die Grenzen des Deutlichsehens bestimmen. (Diese complicirten Verhältnisse werden bisher weder von Seite der Aerzte noch weniger aber von jener der Optiker, denen die Optometrie zumeist überlassen ist, bei den Experimenten immer gebührend gewürdigt).

Bei jedem optometrischen Versuche handelt es sich zunächst um die Wahl eines geeigneten Sehobjectes, dessen Elemente gut beleuchtet, und scharf gesondert, bei mässiger Entfernung so klein sein müssen, dass sie noch unter einem sehr kleinen, wenn auch nicht dem kleinstmöglichen Gesichtswinkel (von 2 Sekunden nach Stampfer) erscheinen. Für die Prüfung grösserer Objectsdistanzen muss das Object dagegen auch grösser sein. Von 100 bis zu 1000 Millim. Entfernung kann das Object beiläufig von 0,05 Millim. bis auf 0,5 Millim. an Grösse zunehmen. Bei dem Versuche selbst sind die oben erwähnten Factoren des Deutlichsehens sämmtlich zu berücksichtigen, namentlich die psychische Intention, und die Helligkeit. Für eine ganz exakte Prüfung der Sehweite ist Druckschrift, welche hiezu fast allgemein gewählt wird, als Probeobject nicht zu empfehlen. Kleiner Druck blendet das Auge bei längerer Fixation, und namentlich wird die psychische Intenh die bekannten Contouren der Buchstaben zur scharfen

Fixation gar nicht genügend angeregt, der Farbencontrast der Druckerschwärze und des Papieres ist selten ausreichend stark u. a. Druckschrift gibt aber doch annähernd genaue Resultate; sie empfiehlt sich wegen Bequemlichkeit des Versuches, und man wird sie daher nie ganz entbehren können. In dieser Beziehung sind namentlich E. Jägers Schriftproben zu empfehlen, welche auch bereits überall Eingang gefunden haben. Der Scheiner'sche Versuch (und das darauf gegründete Optometer von Porterfield, Th. Young, Stampfer u. A.) wird bei solchen Individuen, die für optische Experimente Uebung und Verständniss mitbringen, immerhin empfehlenswerth sein, aber eben nur für solche; denn Fehler und Täuschungen kommen bei Ungeübten namentlich an den Grenzen des Deutlichsehens, wo die schwach beleuchteten Doppelbilder eine geringere Distanz haben, gewöhnlich vor. Der Scheiner'sche Versuch (Scheiner: Oculus, s. fundam. optic. 1619) besteht in Folgendem: Man sticht in ein Kartenblatt (Fig. 21) *k* zwei

Fig. 21.

(oder auch mehrere) Löcher *e* und *f*, deren Entfernung kleiner ist als der mittlere Durchmesser der Pupille. Bringt man nun das Blatt nahe an das Auge *o* und visirt durch die Oeffnungen nach einem Objecte *a*, z. B. einer Nadelspitze, so sieht man *a* einfach, sobald der Vereinigungspunkt *c* der beiden Lichtbündel *e* und *f*, welche durch die Löcher des Kartenblattes hindurchgetreten sind, auf die Netzhaut in *c* fällt. Wenn dagegen die Netzhautebene vor dem Punkte *c*, also in *p q* oder hinter demselben in *p*, *q*, liegt, so wird sie von zwei Zersteuungskreisen *p* und *q*, oder *p*, und *q*,, demnach von unreinen und lichtschwachen Doppelbildern des Objectes *a* getroffen. Es ist aus der Figur ersichtlich, dass die Doppelbilder um so distanter sein müssen, je weiter der Vereinigungspunkt *c* von der Ebene der Netzhaut liegt; ferner dass die Doppelbilder eine verschiedene Lage haben, je nachdem der Vereinigungspunkt vor oder hinter die Netzhautebene fällt. Seit 1852 bediene ich mich als Probeobject für den optometrischen Versuch einer metallenen Blende Fig. 22, in deren Mitte ein feines Messingblättchen einge-

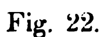
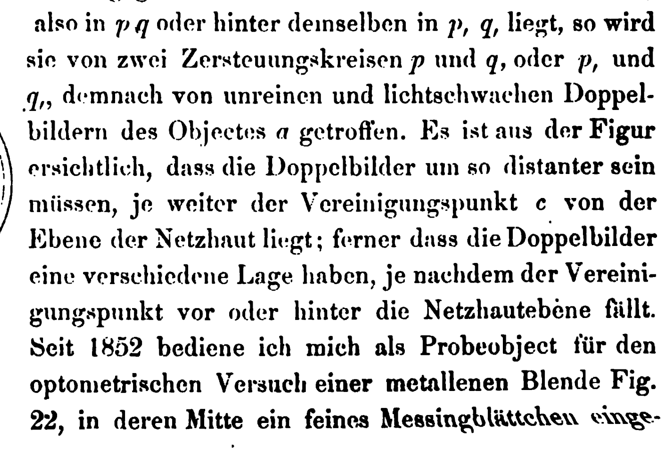


Fig. 22.



fügt ist, welches letztere mittelst 30 feiner Nadelstiche durchbohrt ist. Die Blende ist mit einer Handhabe versehen. Der Beobachter fixirt, indem er sich dem Fenster zuwendet, und die Blende gegen den Himmel hält, die feinen Stichöffnungen derselben. Innerhalb der Grenzen des deutlichen Sehens sieht man diese Oeffnungen

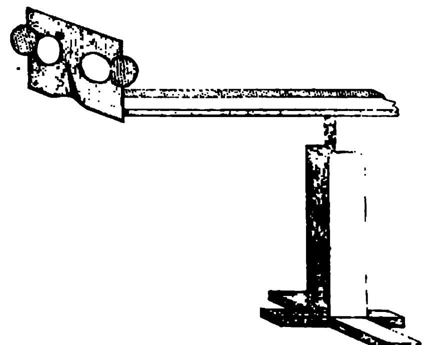
Fig. 23 a. b

scharf contourirt, als helle Scheibchen Fig. 23a. Ausserhalb der Grenzen des deutlichen Sehens aber confluiren die nahe bei einander stehenden lichten Punkte, indem das Bild derselben in der Form eines Zerstreuungskreises auftritt, alsbald in eine lichte Scheibe Fig. 23 b, von dem Durchmesser des Messingblättchens. Es ist namentlich hervorzuheben, dass dieses Probeobject bei gleich bleibender Schärfe des optischen Resultates auch für Ungeübte sich empfiehlt, die sehr bald begreifen, um was es sich hier handle, und auf was sie ihre Aufmerksamkeit zu richten haben. Dieses Probeobject reicht zur Prüfung von Objectfernen bis auf 40 Zoll aus. Für weitere Entfernungen wähle ich ein Kartenblatt, welches durch mehrere, 8—10 grobe Nadelstiche von 1 Millim. Oeffnungsdurchmesser durchbohrt ist.

Zur Messung der Distanz des Nah- und Fernpunktes des deutlichen Sehens (s. Fig. 17 wo q den Fernpunkt, b den Nahpunkt andeutet) vom Auge reicht ein Zollstab aus. Bei jedem derartigen Versuche muss das Auge selbst von allem seitlichen Lichte abgeblendet werden. Es ist daher nöthig, unmittelbar vor das Auge einen Schirm mit einer Visiröffnung von 2‴ Durchmesser zu bringen. Auch ist es wünschenswerth, bei jedem optometrischen Versuche eine mittlere Beleuchtung zu wählen. Die photometrische Bestimmung derselben (für welche ich Prag. Vierteljsch. Band 32 ein Photometer angegeben habe) wäre allerdings wünschenswerth, ist aber allzu umständlich. Es wird aber

Fig. 24.





doch gut sein, mindestens darauf zu sehen, dass man in einem Zimmer in welches kein directes oder reflektirtes Sonnenlicht fällt, und in einem solchen, wo nur durch ein Fenster Licht dringt, die Untersuchung vornehme. Zur Bequemlichkeit und Exaktheit der Messung wird mein Optometergestell Fig. 24 (s Prag Vierteljsch. Band 32) sich empfehlen, welches aus einem horizon-

talen, auf einem verschiebbaren Stativ befindlichen Brette besteht, an dessen einem Ende eine Maske zum Einlegen des Kopfes angebracht ist. Durch die Augenlucken, von denen jede mittelst einer Klappe geschlossen werden kann, visirt der sitzende Patient längs dem in Zolle getheilten Brette, auf welchem jederart Objecte aufgestellt, und zugleich ihr Abstand vom Auge unmittelbar abgelesen werden kann.

Man begnüge sich namentlich bei höhergradigen Refractionsfehlern nicht mit der einmaligen Bestimmung der Accomodationsgränzen, sondern wiederhole die Versuche so lange, bis mehrere derselben übereinstimmen.

Wo man absichtliche Täuschung zu fürchten hat, wird Ruete's Optometer (der Augenspiegel und das Optometer. Göttingen 1852) zu wählen sein. Es besteht in einem kastenartigen Gestell, in welches der Kopf eingelegt wird. An der einen Wand des Kastens befindet sich eine Röhre, durch welche das Auge auf ein Probeobject hinsieht. Da das Gesichtsfeld des Patienten nunmehr auf das Probeobject allein beschränkt ist, so sind ihm alle Hilfsmittel benommen, um die Entfernung des Objectes zu beurtheilen. Dieses Instrument empfiehlt sich nebstbei durch die mit demselben erreichte Beschattung des Auges und Gesichtes.

§. 27. Mittlere Sehweite. Man versteht darunter gewöhnlich die Entfernung, bei welcher mittelgrosse Druckschrift bequem gelesen wird. Es ist diess jedoch durchaus kein optisch markirter Punkt, daher auch die Bestimmungen der Sehweite willkürlich sein können und in der That sehr variiren. Man nimmt sie zwischen 6 und 12 Zoll an. Es wäre zunächst wünschenswerth, um Verwirrungen zu vermeiden, für Sehweite im obigen Sinne lieber die Bezeichnung „Leseweite“ zu wählen; denn die Sehweite im strengen Sinne ist eigentlich durch den Fernpunkt des deutlichen Sehens begränzt, welcher mit der Leseweite nur in den allerseltensten Fällen zusammentrifft. Die Leseweite ist aber ein in der Optik und Ophthalmologie so wichtiger Punkt, dass über dessen Zifferwerth eine Einigung zu Stande kommen sollte. Die genauere Bestimmung der mittleren Leseweite könnte nur aus einer Anzahl von Untersuchungen normalsichtiger Individuen resultiren. Solche Untersuchungen liegen aber zur Zeit noch nicht vor. Vielleicht liesse sich die mittlere Leseweite in runder Zahl mit 300 Millim. annehmen. Ein Object von 1 Millim. erscheint uns bei dieser Entfernung unter dem Retinalbilde von 0,05 Millim. Grösse.

§. 28. Behandlung der Myopie.

Es ist gewiss, das die auf Skleralektasie beruhende Myopie niederen Grades namentlich im Beginne bei Schonung der Accomodation für die Nähe zurückschreiten kann. Für die gänzliche Heilung höherer Grade fehlen jedoch verlässliche Beobachtungen. Eine geregelte Anspruchnahme des Auges kann ferner wesentlich dazu beitragen, die Entwikelung der Myopie aller Grade mindestens zum Stillstande zu bringen. Hier empfiehlt sich namentlich vollständige Enthaltung von jeder Intention des Auges für die Nähe, also von aller Lectüre u. a. Arbeit durch längere Zeit: der Aufenthalt auf dem Lande, Promenaden, Reisen. Vorzüglich muss auch das Zimmer, die Stadt mit ihren engen Strassen gemieden werden. — Eine methodische Übung der Augen, in immer grösserer Entfernung zu lesen (zu welchem Zwecke von Berthold 1840 ein eigenes Lesepult, Myopodiorthoticon (!) angegeben worden ist) hat mir selbst, und jenen Myopikern, mit welchen ich ausserdem die Versuche anstellte, Nichts genützt. Es darf nicht vergessen werden, dass bei solchen Übungen das Auge immer für die Nähe intendirt, daher angestrengt bleibt, indem die Sehaxen beträchtlich convergiren; da man ferner hiebei nothwendig in Zerstreuungskreisen, also undeutlich lesen muss, das Bild daher vor die Retinalebene fällt, so ist gar nicht abzusehen, durch welchen Vorgang es endlich auch bei methodischer Übung in die Retinalebene gebracht werden soll, indem die willkürliche Accomodation den Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen zwar nach vorwärts, aber nicht zurück verschieben kann.

Als Heilmittel der Myopie wurde mehrfach, aus Anlass der Besserung einer den Strabismus begleitenden Myopie nach der Myotomie, diese Operation vorgeschlagen. Philips rieth den musc. oblig. superior zu durchschneiden; Guerin den rect. internus und externus; Bonnet den obliq. inferior. Makenzie (l. c. p. 641) bemerkt zu den namentlich von Bonnet bei Myopie ausgeführten Operationen mit Recht, dass, wenn die beobachtete Besserung nicht reine Täuschung war, sie wohl zunächst auf der Erregung des Organes und der Psyche des Kranken durch die Operation beruht haben möge.

Bei der das Staphyloma posticum begleitenden Myopie ergibt sich für die Therapie die zweifache rationelle Indication: entweder die Axenverlängerung des Auges thatsächlich zu beheben, oder die Lage der optischen Constanten des Auges in der Art zu ändern, dass die Bildweite auch bei grösseren Zifferwerthen der Objectferne mit der Ebene der Netzhaut zusammenfalle.

Eine Verminderung der Axe des Auges scheint namentlich mit der Entwikelung von Marasmus des ganzen Organismus zuweilen einzutreten, und dabei die Myopie sich zu bessern. Auch erschöpfende Krankheiten bringen zuweilen temporäre Besserung der Myopie zu Stande. In dieser Beziehung ist folgender Fall von dem grössten Interesse: Eine junge Dame aus den höheren Ständen, schon als Kind an hochgradiger ererbter Myopie leidend, (Fernpunkt 8 Zoll) überstand in ihrem 17. Lebensjahre einen schweren Typhus, der sie durch mehrere Wochen an das Lager fesselte. Als sie zum erstenmale das Bett verliess und ans Fenster geführt wurde, vermochte sie zu ihrer Überraschung die fernsten Objecte deutlich zu erkennen, z. B. die Bäume eines fernen Waldes genau zu zählen. Diese Besserung der Sehkraft dauerte jedoch nicht lange. Mit der Zunahme der Kräfte und Körperfülle trat allmälig wieder derselbe Grad von Myopie ein, wie vor der Krankheit. Als sie im späteren Reconvalescenzstadium vom Lande nach Prag kam, und ich die Refractionsverhältnisse des Auges der Patientin, welche ich schon vor ihrer Erkrankung als myopisch gekannt hatte, genauer prüfte, war der Fernpunkt neuerlich auf 8″ gesunken. — Es ist diess freilich bisher der einzige Fall, wo eine temporäre Besserung der Myopie nach Typhus vorliegt. Schon deshalb würde es immer gewagt sein, zur Heilung oder mindestens temporären Besserung der Myopie z. B. ein exhaurirendes Heilverfahren vorzuschlagen. — Ob eine directe Entleerung eines Theiles der Augenflüssigkeisen, z. B. durch die Paracentese der Augenkammer, die Myopie zu heilen im Stande sei, ist ein Problem. In excessiven Fällen könnte immerhin der Versuch gewagt werden. — Dass durch die Entfernung der Linse die Myopie geheilt werden könne, unterliegt keinem theoretischen Bedenken. Thatsächlich ist diess erwiesen durch die Cataractoperation bei solchen Kranken, welche früher myopisch waren. Solche Patienten gewinnen manchmal ein normales Sehvermögen, und bedienen sich je nach dem Grade der früher bestandenen Myopie, in der Regel nur zum Nahesehen, theilweise mehr wegen Accomodationsuntüchtigkeit, einer schwächeren Convexbrille. — Die Unsicherheit des Erfolges einer so eingreifenden Operation, wie die Entfernung der Linse es ist, wird aber immer in solchen Fällen, wo Myopie allein vorliegt, und die Linse selbst nicht erkrankt ist, diese Operation als ein übermässiges Wagniss erscheinen lassen, namentlich da, wo die Myopie noch durch Brillengebrauch corrigirt werden kann.

§. 29. Von den Brillen und ihrer Anwendung.

Seit den ältesten Zeiten musste die Änderung der Strahlenbrechung durch geschliffene Gläser oder Edelsteine, mit Wasser gefüllte Gläser und andere diaphane, mit krummen Oberflächen versehene Körper beobachtet werden, und diese wurden auch hie und da wirklich zum deutlicheren Sehen verwendet: (wie denn Kaiser Nero, der kurzsichtig war, sich [nach Plinius] eines concaven Smaragdes zum Deutlichsehen in die Ferne bedient hat). Die Zeugnisse der Geschichte über methodische Benützung von Brillengläsern, namentlich von convexen, reichen jedoch nur bis zu den letzten Jahren des 13. Jahrhunderts zurück. Man ist zweifelhaft, ob Roger Bacon (geb. 1214, † 1294) oder Alex. de Spina in Pisa (†1313) oder Salvino degli Armati in Florenz († 1317) die Brillen erfunden habe. Wahrscheinlich ist es, dass keiner derselben eigentlich als der Erfinder gelten könne; wohl aber haben mindestens die beiden Letzteren sich um die Verallgemeinerung des Gebrauches dieser bereits lange als Curiosa bekannten, und vereinzelt selbst zum Sehen verwendeten Instrumente verdient gemacht. Einen klaren Begriff von der Wirkungsweise der Brillen hatte man damals noch nicht. Der methodische Gebrauch von Concavgläsern datirt wahrscheinlich aus derselben Zeit, wie jener der Convexgläser; sie scheinen aber im Mittelalter nur eine sehr beschränkte Anwendung gefunden zu haben, und über ihre erste Einführung in die Oculistik fehlen alle Daten. Maurolicus (de lumine et umbra 1554) in Messina gab der Erste in einem Manuscripte eine, wenn auch nicht genügende, doch annähernd richtige Erklärung der Wirkung der Brillen. Mit voller Klarheit aber erkannte erst Kepler (Paralipomena 1604), der selbst myopisch war und Concavgläser trug, die Wirkung der Brillen, nachdem er drei Jahre lang dem Gegenstande nachgedacht hatte. So wurde Kepler der Schöpfer der Dioptrik, und zugleich der Brillenlehre. Der Erkenntniss des Fundamentalgesetzes der Dioptrik (Verhältniss des Sinus des Einfalls- und gebrochenen Winkels) war dieser grosse Geist nahe gekommen. Es wurde aber erst durch einen Zeitgenossen Kepler's, durch Willebrord Snell (1591 – 1626), Professor der Mathematik in Leyden, um das Jahr 1620 berechnet, und nach dessen Tode unter seinen Papieren gefunden.

In neuester Zeit haben diese Instrumente (der Name Brille kommt von Beryll, einem Edelsteine, aus dem dieselben Anfangs verfertigt wurden) einen sehr erweiterten Gebrauch gefunden, und man bezeichnet dermalen mit diesem Namen nicht allein solche Instrumente, welche die Lage der optischen Constanten des Auges verändern, sondern auch

solche, welche das Retinalbild seitlich verschieben, und endlich jene, welche zum Schutze des Auges gegen Licht oder äussere Schädlichkeiten dienen. Wir unterscheiden demnach:

1. Linsenbrillen; 2. prismatische Brillen; 3. Schutzbrillen gegen Licht; 4. Schutzbrillen gegen mechanische Einflüsse.

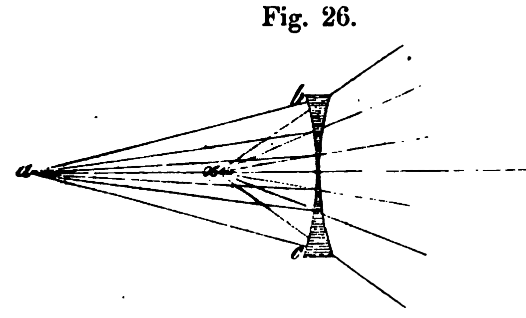
Hier soll zunächst bloss die erste Art betrachtet werden.

§. 30. Linsenbrillen.

Es sind dies aus einfachen Linsen bestehende Instrumente. dazu bestimmt, Weit- oder Kurzsichtige beim Sehen zu unterstützen, Einfache Linsen sind centrirte brechende Systeme mit zwei Begrenzungsflächen, deren Abstand kleiner ist, als die Krümmungsradien. Man unterscheidet Collectiv- (Sammellinsen) und Dispansiv- (Zerstreuungs-) Linsen. Die Wirkung von Collectivlinsen lehrt Fig. 25. Von einem Objecte *a* fällt ein Lichtkegel *a b c* auf die Linse, dessen sämmtliche Strahlen nach der Brechung in dem Punkt *d* sich wieder vereinigen. Es gibt biconvexe, planconvexe und concavconvexe Collectivlinsen. Das Licht wird durch die Linse wieder gesammelt. Der Punkt *d* ist ein reelles, positives Bild von *a*. — Die Wirkung von Dispansivlinsen lehrt Fig. 26. Von einem Objecte *a* fällt ein Lichtkegel *a b c* auf die Linse, dessen Strahlen nach der Brechung mehr zerstreut und nach vorn verlängert gedacht, sich im Punkte *x* vereinigen würden. Das Licht wird also zerstreut. Der Punkt *x* ist ein ideelles, negatives, virtuelles Bild von *a*. Diese Art von Linsen kann biconcav, planconcav, oder convexconcav sein.

Fig. 25.

Fig. 26.



Unter Axe der Linse versteht man die gerade Linie, welche durch die Krümmungsmittelpunkte der beiden Flächen der Linse geht. Ein Punkt der Axe in der Mitte der Linse *o* heisst der optische Mittelpunkt. Für biconvexe und biconcave Linsen von beiderseitig gleichem Krümmungsradius gilt dieser Punkt, der Mittelpunkt zwischen den beiden

Hauptpunkten, ziemlich strenge; bei den anderen Formen der Linsen hat jedoch der optische Mittelpunkt auch stets einen anderen Ort, was für exactere Bestimmungen festgehalten werden muss. Für praktische Zwecke reicht im Allgemeinen obige Feststellung des optischen Mittelpunktes aus.

Verfolgt man den Gang des Lichtes durch Linsen, und bezeichnet man Fig. 25 die Entfernung des Objectes a von der Linse, also $a\,o$ mit a, die Entfernung des Bildes von der Linse, also $o\,d$ mit α, den Halbmesser der vordern Fläche mit f, jenen der hinteren Fläche mit g, das Brechungsvermögen des Glases, aus welchem die Linse geschliffen ist, mit n, so resultirt aus dem Brechungsgesetze die Gleichung

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

d. h. die Summe der beiden reciproken Vereinigungsweiten einer Linse ist gleich der Summe der beiden reciproken Halbmesser, multiplicirt durch das um die Einheit verminderte Brechungsverhältniss. Ist $a = \infty$ und bezeichnet man α mit p, so ergibt sich

$$\frac{1}{p} = \frac{(n-1)}{f} + \frac{(n-1)}{g} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

Man nennt dann p die Brennweite, und es ist also auch nach 1) und 2)

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

Die letzteren beiden Gleichungen reichen im Allgemeinen hin, um für jede Linse den Werth einer der drei Grössen p, a, α zu finden, wenn die beiden anderen bekannt sind. Man begreift sogleich, dass sich die beiden Hauptformen der Linsen dadurch unterscheiden, dass bei den Sammellinsen die Brennweite positiv, bei den Zerstreuungslinsen negativ angenommen wird.

Offenbar bleibt in Gleichung 2) auch p positiv,

1. wenn f und g positiv sind (biconvex),
2. wenn f positiv, $g = \infty$ (planconvex), so ist

$$\frac{1}{p} = \frac{(n-1)}{f}$$

3. wenn f positiv, g negativ, aber $g > f$ (sammelnder Meniskus); denn es ist $\frac{1}{p} = \frac{(n-1)}{f} - \frac{(n-1)}{g}$ aber $\frac{n-1}{f} > \frac{n-1}{g}$

Die Brennweite wird aber negativ, 1. wenn f und g negativ (biconcav), weil dann

$$\frac{1}{p} = -\frac{(n-1)}{f} - \frac{(n-1)}{g}$$

2. wenn f negativ, $g = \infty$ (planconcav), wo

$$\frac{1}{p} = -\frac{(n-1)}{f}$$

3. wenn f positiv und g negativ aber $g < f$ (zerstreuender Meniskus), weil

$$\frac{1}{p} = \frac{(n-1)}{f} - \frac{(n-1)}{g} \text{ und } \frac{n-1}{g} > \frac{n-1}{f}$$

also ändert sich Formel 3) für Zerstreuungslinsen allgemein in

$$-\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

Die Erscheinungen durch Linsen, die Lage, Grösse und scheinbare Stellung der Bilder, welche durch sie hervorgebracht werden, lassen sich annäherd genau (s. auch Fig. 16 und die dort gegebene genauere Erklärung des Ganges der Lichtstrahlen) theils durch Berechnung obiger Formeln, theils auf constructivem Wege finden, wenn man von jedem Objectpunkte zwei Strahlen zieht, einen durch den optischen Mittelpunkt und den anderen parallel zur Axe. Letzterer geht nach der Berechnung durch den Brennpunkt der Linse. Da, wo diese beiden Strahlen einander durchschneiden, ist das Bild des Objectpunktes.

Das Verhältniss der linearen Grösse des Objectes o und Bildes b, daher die Vergrösserung der Linse, ergibt sich auf constructivem Wege leicht, und es resultirt daraus für Sammellinsen

$$\frac{b}{o} = \frac{\alpha}{a} = \frac{p}{a-p}$$

und für Zerstreuungslinsen

$$\frac{b}{o} = \frac{\alpha}{a} = -\frac{p}{a+p}$$

Aus der Wirkung der Linsen entnimmt man im Allgemeinen welcher ihr Einfluss auf das Sehvermögen sein müsse, wenn sie mit dem optischen System des Auges in Verbindung gesetzt werden. Offenbar muss durch das Vorsetzen von Linsen die Lage der optischen Constanten des Auges geändert werden, indem ein Collectivglas die collective Kraft der Augenmedien erhöht, eine Zerstreuungslinse dieselbe aber vermindert.

Für Zehender's reducirtes Auge, dessen hintere Brennweite 9'''

beträgt, ändert sich durch ein 6‴ vor dem Auge aufgesetztes Convexglas Nr. 50 der Werth dieser Brennweite in 8,9869, durch ein Glas Nr. 24 in 8,9781, Nr. 12 in 8,9564, Nr. 8 in 8,9348, Nr. 4 in 8,8706 u. s. w., während durch eine Zerstreuungslinse von gleichen Nummern die Brennweite in 9,0131 — 9,0219 — 9,0439 — 9,0661 — 9,1332 übergeht. Also wird im ersten Falle die Brennweite vermindert, im zweiten erhöht, d. h. eine vorgesetzte Convexlinse macht ein normales Auge im Allgemeinen kurzsichtig, eine Concavlinse weitsichtig. Diese Linsen werden demnach auch bei zweckmässiger Wahl durch Änderung der Werthe der optischen Cardinalpunkte des Auges die Myopie und Presbyopie zu corrigiren im Stande sein.

Ein Weitsichtiger vermag (s. Fig. 17) von b bis P nicht mehr deutlich zu sehen. Der Punkt b, der Nahepunkt, ist also die Grenze seines deutlichen Sehens. Will er nun auch Objecte, welche sich zwischen b und seinem Auge P befinden, also einen a Zoll entfernten Gegenstand, wobei $a < b$, deutlich sehen, so frägt man nach der Brennweite des Convexglases, welches dies möglich macht. Da nun nach Gleichung 3)

$$p = \frac{a\,\alpha}{a+\alpha}$$

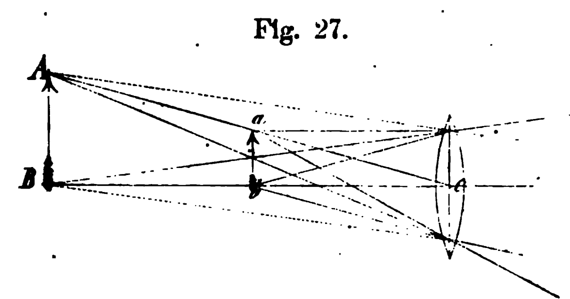
und für unseren Fall $\alpha = b$ sein muss (d. h. das durch die Linse erzeugte Bild muss m i n d e s t e n s in der Entfernung b entstehen), da ferner α negativ sein, d. h. auf derselben Seite wie das Object liegen muss, also $\alpha = -b$, so ist

$$p = \frac{a\,b}{b-a}$$

Ist also z. B. $a = 8$ Zoll, $b = 24$ Zoll, so ist $p = 12''$.

Hier ist aber sogleich zu bemerken, dass, wenn der optometrisch bestimmte Werth von b, welches der äusserste Gränzpunkt der willkürlichen Accomodation ist, in die Rechnung eingeführt wird, wir eine Brillennummer bestimmen, bei deren Gebrauch die Accomodation viel zu sehr in Anspruch genommen wird. Es ist immer wünschenswerth, einen höheren Werth für b als den optometrisch gefundenen, in die Rechnung zu bringen, und da zeigt es sich, dass, je höher dieser Werth ist, um desto schärfere Gläser sich ergeben, im Allgemeinen die Nummer derselben zwischen dem Werthe von q und b stehe, und wenn $b = q = \infty$ angenommen wird, so wird $p = a$; da ist nun offenbar dem Versuche gege[illegible] [illegible]in grosser Spielraum einzuräumen. Di[illegible] [illegible]er kleiner sein

Fig. 27.



müssen, als der Nahepunkt des deutlichen Sehens.

Die Lage und Grösse des Bildes beim Gebrauche einer Collectivlinse macht Fig. 27 deutlich. Befindet sich in $a\ b$ ein Object, in o der Mittelpunkt der Linse, so entsteht sein Bild in $A\ B$. Es ist demnach $b\ o = a$ und $B\ o = b$ unserer obigen Formel. Es ist bei Vergleichung der Dreiecke $a\ b\ o$ und $A\ B\ o$ ersichtlich, dass

$$\frac{A\ B}{a\ b} = \frac{B\ o}{b\ o} = \frac{b}{a},$$

also sieht das Auge aus dem optischen Mittelpunkte der Linse das Object $\left(\frac{b}{a}\right)$mal linear vergrössert, aber auch $\left(\frac{b}{a}\right)$mal entfernter, da $b > a$. In unserem obigen Falle, wo $b = 24$, $a = 8$, wäre demnach eine 3malige Vergrösserung erreicht.

Ein Kurzsichtiger vermag (Fig. 17) von q bis ∞ nicht mehr deutlich zu sehen. Will er nun das Bild eines Objectes a, welches in der Entfernung q bis ∞ liegt, in seine deutliche Sehweite $b\ q$ bringen, oder doch an den äussersten Gränzpunkt derselben, den Fernpunkt q, so muss wieder nach obiger Linsenformel, weil hier $a = q$ wird, die Brennweite des Zerstreuungsglases sein

$$-p = \frac{a\ q}{a - q}$$

Ist also für einen Myopiker $p = b$ Zoll, $a = 12$ Zoll, so ist $-p = 12$.

Es gilt daher sowohl für Myopiker als Weitsichtige die bekannte Regel: Man findet das zur Correction nöthige Glas, wenn man die Entfernung, bei welcher man deutlich sehen will, mit jener, bei welcher man deutlich sieht, multiplicirt, und das Product durch die Differenz dieser Werthe dividirt.

Man sieht, dass auch bei Myopie der Werth von q beliebig in der Rechnung kleiner angenommen werden könnte, da ja der Myopiker is q deutlich sieht. Es wird aber doch niemals von dem wahren q in der Rechnung weit abgewichen werden dürfen, weil das Bild des Objectes in das Bereich der willkürlichen a.e brächte, wodurch das Auge viel zu sehr angestrengt

würde. Unter den Werth des Nahepunktes wird die Brennweite des Glases niemals sinken dürfen. Die Grösse des Bildes gibt Fig. 27 mit dem Unterschiede, dass nun in A B das Object, in a b das Bild zu suchen ist; das Bild ist demnach $\left(\frac{q}{a}\right)$mal verkleinert, da $q < a$.

Es ist aber auch $\left(\frac{q}{a}\right)$mal genähert.

Aus dem eben Erörterten scheint sich zu ergeben, als ob bei Refractionsfehlern für die verschiedenen Werthe von a, d. h. der Objectferne, auch andere Brillennummern benöthigt würden. Wenn nun z. B. ein Myopiker für die verschiedenen Entfernungen von Fuss zu Fuss eine andere Brille nöthig hätte: so würde hiedurch der Gebrauch der Brillen ausserordentlich erschwert. Glücklicherweise zeigt aber sowohl Rechnung als Erfahrung, dass der Myopiker sich nur auf eine geringe Zahl von Brillen beschränken könne. So braucht z. B. ein Myopiker mit dem Fernpunkte von 8″ bei unendlicher Entfernung Nr. 8, bei 100″ erst $8\frac{1}{2}$, bei 50″ Nr. $9\frac{1}{2}$, bei 15″ Nr. 17 u. s. w. Es wird demnach mit Nr. 9 von nahe unendlicher Entfernung bis nahe 4 Fuss deutlich sehen, und erst für beträchtlichere Nähen schwächere Gläser benöthigen. Sobald die Objectferne gleich dem Fernpunkte wird, braucht der Myopiker endlich Nr. 0, d. h. kein Glas mehr. Will er Objecte, deren Entfernung kleiner als der Nahepunkt ist, deutlich sehen, so benöthigt er ein Glas von der Brennweite

$$p = \frac{a\,q}{q - a},$$

d. h. ein Convexglas, und verhält sich demnach für solche Entferunngen ganz so, wie ein Weitsichtiger.

§. 31. Handelt es sich nun um die Wahl einer Brille für einen Myopiker, so gelten folgende, theilweise aus dem so eben Besprochenen resultirende Regeln:

Man überzeuge sich vorerst durch genaue Untersuchung von der Abwesenheit anderer Krankheiten, welche Myopie nur vortäuschen, wie z. B. Amblyopien, Trübungen der diaphanen Medien etc. Combinationen anderer nicht entzündlicher Krankheiten, Cornealtrübungen mit wahrer Myopie z. B. contraindiciren dagegen den Brillengebrauch nicht.

Hierauf bestimme man den Fernpunkt des deutlichen Sehens genau.

Benöthigt der Myopiker eine Brille für die Ferne, z. B. die Strasse, zur Jagd, für die Schule, um auf die Tafel zu sehen u. s. w., so be-

Fernpunkt die Nummer des Glases Es wird aber räthlich

immer um einen oder zwei Grade schwächer zu wählen

z. B. bei 8'' Fernpunkt Nro. 9, (bei noch kürzerer Sehweite jedoch nur um $^1/_2$ Grad schwächer). Ein solcher Myopiker wird zwar in grosse Fernen mit Nr. 9 nicht völlig scharf, aber doch hinlänglich sehen, dagegen diese Brille auch wieder für beträchtlichere Nähen ohne Anstrengung und Schaden brauchen können, z. B. zum Klavierspiel. Zum Lesen auf beiläufig 12'' wäre jedoch, mindestens für eine dauerndere Lecture, diese Brille zu scharf, und er muss für diesen Zweck die Brillennummer berechnen. In unserem speciellen Falle müsste er Nr. 20 - 24 wählen. Die meisten höhergradig Myopischen verwenden ohne wesentlichem Nachtheil die dem Fernpunkte entsprechende Brille auch zum Lesen, zur Arbeit für die Nähe. Sie dauern aber bei diesem unzweckmässigen Gebrauche bei der Arbeit niemals lange aus, müssen dem Auge immer wieder für einige Zeit Ruhe gönnen, acquiriren dabei leicht höhere Grade von Myopie oder Accomodationsparese. Wenn manche Individuen überhaupt die unzweckmässigste Brille ohne wesentlichem Nachtheil verwenden, so bestätiget dies eben nur die Beobachtung, dass das Auge in der That manchmal wunderbare Quälereien geduldig erträgt; es spricht dies aber durchaus nicht gegen die Gesetze der Theorie, und ebenso wenig gegen die Erfahrung im Allgemeinen. Für die höchsten Grade der Myopie müssen zur Arbeit in der Regel noch schwächere Brillen gewählt werden, als die Rechnung ergibt.

Man kann myopischen Kindern, z. B. Knaben, welche die Schule besuchen, ungescheut Brillen zum Sehen auf die Tafel empfehlen. Freilich treiben Kinder leicht Missbrauch damit, verwenden z. B. dieselbe Brille auch zum Lesen u. s. w. Aus diesem Grunde ist hier viel Vorsicht anzuempfehlen. Auch darf man nicht vergessen, dass die im kindlichen Alter meist vorschreitende Myopie eine zeitweilige Erneuerung des optometrischen Versuches nöthig mache, und sobald sich eine Änderung der Refractionsverhältnisse ergibt, auch eine andere Brille gewählt werden muss.

Brillen können und sollten von höhergradig Kurzsichtigen ununterbrochen getragen werden. Es ist dies eine nothwendige Forderung der dauernden Refractionsanomalie, welche eben nur durch die Brille corrigirt wird. Da eine zweckmässig gewählte Brille dem normalen Auge keinerlei Zwang aufbürdet, seine accomodative Thätigkeit nicht modificirt oder alterirt, im Gegentheile den normalen Gebrauch desselben erst möglich macht, und zugleich das Vermögen der räumlichen Sonderung, welches der Retina innewohnt, durch Aufhebung der Zerstreuungskreise unterstützt, so ist gar nicht begreiflich, welchen Scha-

den sie bewirken sollte. Jede gute Brille ist in diesem Sinne ein Conservationsglas.

Bei ungleicher Sehkraft beider Augen ist es durch die Theorie gefordert, für jedes Auge eine andere Brillennummer zu wählen. Unbeträchtliche Differenzen des Fernpunktes bei niederen Graden der Myopie verdienen allerdings keine Berücksichtigung, wohl aber bei höheren. Wer z. B. rechts 7″ und links 8″ Fernpunkt hat, braucht gewiss für die Ferne Nr. $7\frac{1}{2}$ und $8\frac{1}{2}$—9 und für die Nähe Nr. 17 und 24. Würde er für die Ferne eine mittlere Brillennummer beiden Augen vorsetzen, z. B in unserem Falle Nr. $7\frac{1}{2}$, so wäre diese zufällig für ein Auge passend, für das andere aber viel zu scharf, daher schädlich. Eine mittlere Brille für die Nähe, z. B. hier Nr. 20 wäre für ein Auge zu schwach, für das andere zu stark, daher einem Auge schädlich, dem anderen nicht dienlich. Möchte man daher von diesen Vermittelungsversuchen endlich einmal zurückkommen, und jedem einzelnen Auge die Brille geben, welche ihm passt. Die Erfahrung lehrt es nebst der Theorie zur Genüge, dass differente, dem Refractionszustande jedes Auges entsprechende Gläser bei differentem Grade der Myopie das einzige Mittel sind, ein richtiges Biocularsehen zu unterstützen.

§. 32. Construction der Brillen.

(S. u. A. F. Barfuss: Optik. Weimar, 1839, ein schätzbares populäres Lehrbuch; und Rospini: Brille und Fernrohr. Wien, 1855.)

Als Material für Brillen verwendet man fast ausschliesslich Glas. Edelsteine sind zu kostspielig; Bergkrystalle und brasilianische Kiesel werden nur sehr selten verarbeitet. Gewöhnlich wird das gemeine Spiegelglas oder Krystallglas zu Brillengläsern geschliffen. Es muss rein von Blasen, Streifen u. s. w. sein, namentlich aus einer Masse von überall gleichem Brechungsindex bestehen. Dieses Glas steht zwischen Kron- und Flintglas in der Mitte.

Kronglas (auch Crownglas) ist das gemeine Potaschenglas (120 Theile Quarz, 60 Thl. Potasche, 5 Thl. Salpeter, 1 Arsenik, $\frac{1}{3}$ Braunstein). Brechungsindex 1,517—1,530.

Flintglas (100 Thl. Quarz, 100 120 Menninge, 20 Thl. Potasche, 2 Thl. Salpeter, 0,06 Theile Braunstein) enthält besonders viel Blei, und hat ein Brechungsvermögen von 1,613. Es ist schwer rein darzustellen, weil das Blei sich nicht leicht mit den übrigen Stoffen zu einer gleichförmigen Masse vereinigt.

Im Handel kommen zuweilen gegossene Brillengläser vor. Sie sind

billig, aber meist unrein, und an der Oberfläche wellig, geben mindestens am Rande verzerrte Bilder, und sind daher nicht zu empfehlen. — Die Brillengläser werden auf metallenen Kugelschalen mit Schmirgel geschliffen, und mit Kolkothar (rothes Eisenoxyd) polirt, die convexen Gläser auf hohlen, die concaven auf erhabenen Schalen.

Zu Brillengläsern verwendet man als Sammelgläser biconvexe, planconvexe und convexconcave; als Dispansivgläser biconcave, planconcave und concavconvexe Linsen. Zu Lorgnetten, bei denen nicht immer die nämliche Fläche dem Auge zugewendet wird, sollte man bloss biconvexe oder biconcave Gläser wählen. Zu jenen Brillen aber, welche in fester Verbindung mit dem Gesichte stehen, empfehlen sich die periskopischen Gläser, d. h. convexconcave, deren Concavität dem Auge zugekehrt ist, bei denen die Abweichung wegen der Kugelgestalt der Linse am wenigsten ins Gewicht fällt. Der Übelstand dieser Gläser, dass sie mit ihrer convexen Fläche meist zu weit über die Brillenfassung hervorragen, und daher leichter beschädigt, abgerieben werden, kommt wohl nicht in Betracht, wenn der Patient nur seine Brille als ein wichtiges Instrument ansieht, was sie auch in der That ist, und damit schonend umgeht. Wichtiger ist die starke Spiegelung des seitlich und von rückwärts auf die concaven Flächen fallenden Lichtes, welche nur durch ein möglichst enges Anliegen des Glases an dem Auge einigermassen zu vermeiden ist.

Jedes Brillenglas sollte richtig centrirt sein, d. h. der Rand genau kreisförmig abgeschnitten, und die höchsten oder tiefsten Punkte beider Kugeloberflächen vom Rande gleichweit abstehen. Jede positive Linse ist centrirt, wenn ihre beiden Oberflächen sich schneiden, also in einen sehr scharfen Rand auslaufen. Einen scharfen Rand besitzen aber solche Linsen selten; Zerstreuungsgläsern kann er gar nicht gegeben werden. Man überzeugt sich von der richtigen Centrirung eines Glases, indem man von einem entfernten Kerzenlicht zwei kleine Spiegelbilder an den beiden Oberflächen entwerfen lässt. Wendet man nun das Glas so, dass man die beiden Spiegelbilder genau an derselben Stelle erblickt, oder das kleinere genau in der Mitte des grösseren steht, so ist dieser Ort der Mittelpunkt der Linse. Befindet er sich in gleichem Abstande von allen Punkten der Peripherie, so ist die Linse richtig centrirt. Die im Handel vorkommenden Brillengläser gehen selten über 100″ Brennweite. Manche betrachten schon Gläser von 80″ als die schwächsten. Man hat dann solche von Nr. 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40. Unter 40 bis 15 sollte ein gewissenhafter Optiker

alle Nummern von Zoll zu Zoll Brennweite vorräthig haben. Von Nr. 15 bis 8 sollte die Brennweite der Gläser um $1/2''$ differiren; von Nr. 8 bis 1 nur um $1/4$ Zoll. Es gilt diess natürlich sowohl für Sammel- als Zerstreuungsgläser.

Auf jedem Glase soll die Ziffer seiner Brennweite am Rande mit Diamant bezeichnet sein. Es ist immer mit ein Zeichen von geringer Gewissenhaftigkeit des Optikers, wenn diese Ziffer, welche eben eine genauere Controlle möglich macht, fehlt.

Eine andere Bezifferung der Gläser als nach ihrer Brenn- oder Zerstreuungsweite ist unpassend.

Die Brennweite von Sammelgläsern ist im Allgemeinen leicht zu bestimmen. Man lässt ein scharfes Bild der Sonne durch die Linse auf einer Fläche entwerfen, und misst hierauf den Abstand der Linse von dieser Fläche. Der gefundene Werth gibt die Brennweite des Glases. Man verwendet zu dieser Messung gewöhnlich ein nach Zollen getheiltes, bis $4^1/_2$ Fuss langes Brett, an dessen einem Ende ein mit Papier überzogener Schirm befindlich, und auf dem zugleich eine Brillenfassung verschiebbar ist, in welche die Gläser, deren Brennweite bestimmt werden soll, eingelegt werden. — Die Brennweite von Zerstreuungslinsen kann nur durch Vergleichung des Glases mit solchen von bekannter Brennweite, sogenannten Normalgläsern ermittelt werden. Man hält die beiden Linsen nebeneinander, in einiger Entfernung von dem Auge, und sieht durch beide gleichzeitig nach einem entfernten Objecte, z. B. einem Bilde. Wenn beide Linsen ein gleich stark verkleinertes Bild geben, so haben sie gleiche Brennweite. Offenbar kann durch diese Methode keine vollkommen genaue Bestimmung erreicht werden. Exacter lässt sich die Brennweite nur bei bekanntem Brechungsindex und bekanntem Krümmungsradius der beiden Flächen nach Gleichung 2) (s. pag. 52) bestimmen.

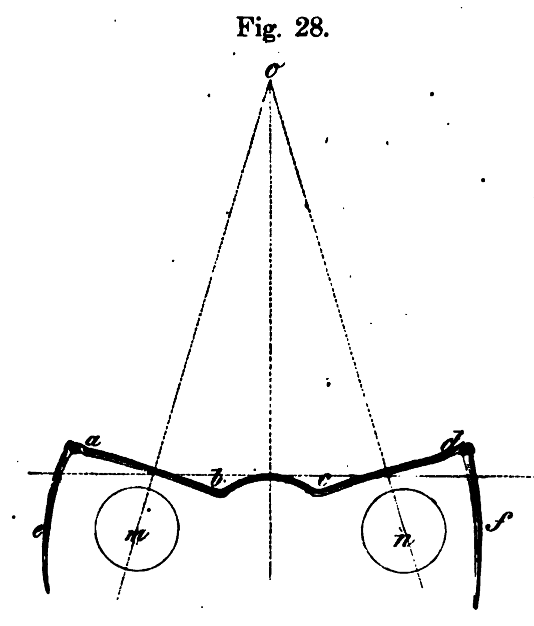
Die Fassung der Brillengläser verdient die Aufmerksamkeit des Arztes in hohem Grade; denn dieselben erfüllen auch bei sonst passender Wahl nur dann ihren Zweck, wenn sie dem Auge möglichst nahe, senkrecht auf die Sehaxe, und mit ihrem Centrum gerade in, oder doch nahe in der Sehaxe aufgestellt sind. Zunächst ist zu erwähnen, dass Alles diess nur erreicht wird, wenn das Brillengestell in eine möglichst feste Verbindung mit dem Gesichte des Patienten gebracht wird. Lorgnetten, oder sogenannte Lese-
[illegible]schalb schon im Allgemeinen nicht zu empfehlen,
[illegible] der Hand vor dem Auge gehalten werden; denn in

solchen Fällen ist weder die Entfernung des Glases vom Auge, noch ihre centrische Aufstellung eine constante. Man kann höchstens solchen niedergradig Myopischen oder Weitsichtigen den Gebrauch der Lorgnetten gestatten, (aber nie empfehlen), welche nur auf kurze Zeit, und nicht häufig, z. B. zum Gesange, im Concertsaal, auf Reisen u. s. w. ein Correctionsglas benöthigen. Empfehlenswerther als die in der Hand gehaltenen Lorgnetten sind zu solchen Zwecken die sogenannten Nasenquetscher (Zwicker, Roccocolorgnetten, Binoclen, Pince nez), welche mittelst einer Feder auf der Nase festsitzen. Aber auch diese sitzen im Allgemeinen für den dauernden Gebrauch z. B. zum Lesen nicht fest genug. — Ganz unzweckmässig sind die einfachen, nur aus einem Glase bestehenden Lorgnetten (Monoclen), welche meist in die Augenhöhle eingedrückt, oder durch eine krampfhafte Wirkung der Gesichtsmuskeln vor dem Auge festgehalten werden. Das Gesicht wird nicht allein bei ihrem Gebrauche verzerrt und entstellt, sondern sie geben auch wegen ihrer schiefen excentrischen Aufstellung verzerrte Retinalbilder: ja sie negiren das Binocularsehen gänzlich und bürden einem Auge, das sie noch dazu in der unzweckmässigsten Weise unterstützen ausschliesslich die Sehfunction auf.

Die Brillenfassung besteht aus dem Mittelstücke, an welchem die beiden Glaseinfassungen durch einen auf der Nase ruhenden Bügel verbunden sind, und aus den an die Schläfen anzulegenden Seitenspangen, welche durch Charnieren mit dem Mittelstück verbunden sind. Die Seitenspangen werden zum Gebrauche für Männer meist aus zwei durch Charniere verbundenen Stäben bestehend gearbeitet, von denen der längere vordere an die Schläfe, der kürzere hintere hinter das Ohr zu liegen kommt. Das Material der Brillenfassung kann Gold, Silber, Stahl, Horn, Schildplatt u. s. w. sein. Es ist aber wünschenswerth, dass dasselbe keine Reflexbilder in das Auge sende, wesshalb mindestens die dem Auge zugewendeten Flächen dunkel, und nicht polirt sein sollen. Ferner soll das Brillengestell nicht schwer, nicht gar zu leicht verbiegbar, und so fest sein und sitzen, dass es bei den Bewegungen des Kopfes sich weder verschiebt, noch schwankt oder zittert. In allen diesen Beziehungen fehlt die Mode und der Schlendrian nur zu häufig. Am besten verwendet man matten Stahl zu Brillengestellen. Aber auch die modernen allzudünnen Brillengestelle aus Stahl sind nicht zweckmässig. Der Draht soll mindestens 1 Millim. Dicke haben, die Charnieren sollen 3—4 Millim. dick und streng beweglich sein. Für die Glaseinfassungen ist die kreisrunde Form die

beste, weil sie das grösste Gesichtsfeld gestattet, und zugleich die richtige Centrirung des Glases am leichtesten controlirt werden kann. Die eiförmige Gestalt der Brillengläser hat sich aber so sehr eingebürgert, sie wird so allgemein für viel gefälliger und eleganter gehalten, dass man dagegen vergebens ankämpfen würde. — Wo verwendet man aber sonst zu optischen Zwecken eiförmige Gläser? Jedermann würde sich gewiss ein Mikroskop, Fernrohr, selbst ein Theaterperspektiv mit solchen Gläsern verbitten. Nur ältere Leute, oder solche, welche ihr Auge für wirklich erkrankt halten, Staaroperirte u. s. w. lassen sich oft zu dem Gebrauche runder Gläser rathen. — Die richtige und feste Aufstellung des Brillenglases vor dem Auge ist nur durch ein festes Gestell, und streng bewegliche Charnieren zu erreichen. In dieser Beziehung wären namentlich jene Brillen zu empfehlen, welche federnde Seitenspangen haben, die hinter dem Ohre festsitzen, und das Mittelstück immer in gleicher Aufstellung vor dem Auge festhalten. Das Brillenglas sollte nie über 6 Linien vom Scheitelpunkte der Hornhaut entfernt stehen.

Fig. 28.



Mittelstück einer Lesebrille von oben gesehen; *a b* das Glas für das linke, *c d* für das rechte Auge, *b c* der Bügel, *e* und *f* die Seitenspangen, *o* ein Fixirobject *o m* die Sehaxe des linken, *o n* jene des rechten Auges, auf welche die Brillenglässer nahe senkrecht gestellt sein müssen.

Um das Brillenglas immer nahe senkrecht auf die Sehaxe zu stellen, sollten die beiden Gläser bei solchen Brillen, welche für die Ferne dienen, nahe in einer Ebene liegen, oder nur um einen sehr kleinen Winkel, mit ihren vorderen Flächen einander zugeneigt sein. Bei solchen aber, welche zum Lesen verwendet werden, sollte die Neigung der Gläser schon beträchtlicher sein. Nimmt man die Leseweite mit 10 Zoll an, wobei der parallaktische Winkel der Sehaxen nahe 15° beträgt, so muss jedes Glas um $7^1/_2{}^0$ mit seinem äusseren Rande nach vorn geneigt sein. Fig. 28.

Die centrische Aufstellung der Gläser lässt sich ferner nur erreichen, wenn man die Enfernung der Drehpunkte beider Augen des Brillenbedürftigen kennt (s. Fig. 6). Offenbar ist nur jene Brille centrisch aufstellbar, bei welcher die Entfernung der optischen Mittelpunkte der beiden Gläser von einander gleich ist der Abstandslinie der Drehpunkte beider Augen. Hiebei darf aber auch ferner nicht vergessen werden, das Brillenglass immer in gleiche Höhe mit dem Auge aufzustellen. Leider haben die gebräuchlichen Brillen keinerlei Vorrichtung, welche eine Verschiebung der Gläser nach auf- oder abwärts ausgiebig verhindert; die geringste Verbiegung des Bügels, der Seitensprangen oder Lockerung der Charnieren macht die Brille schief sitzen.

§. 33. Vom Ophthalmoskop.

Die Beschreibung der wichtigsten Skleralaffection, des Staphyloma posticum, gab Gelegenheit, die Correctionsmittel der Sehstörung, welche diesen Zustand begleitet, die Brillen, näher zu erörtern. Die Diagnose des Staphyloma posticum wird zunächst ermöglicht durch das Ophthalmoskop. Auch dieses Instrument muss daher, ehe wir die Krankheitsformen der Sklera weiter besprechen, hier bezüglich seiner Theorie und Praxis genauer betrachtet werden. Das Ophthalmoskop ist eine der werthvollsten Bereicherungen der Ophthalmologie nicht allein, sondern auch eine der schönsten Schöpfungen unseres Jahrhunderts. Was das Fernrohr für die Astronomie, ist das Ophthalmoskop für die Ophthalmologie. Das Fernrohr verdankt seine erste Entdeckung dem Zufall; das Ophthalmoskop ist durchaus ein reifes Kind der Theorie, und deshalb vorzüglich eine Zierde seines Urhebers Helmholtz, und damit auch unseres Jahrhunderts, welches seine meisten grossen Entdeckungen nicht dem blinden Zufall dankt, sondern sie mühevollen, aber exacten theoretischen Forschungen abzuringen weiss.

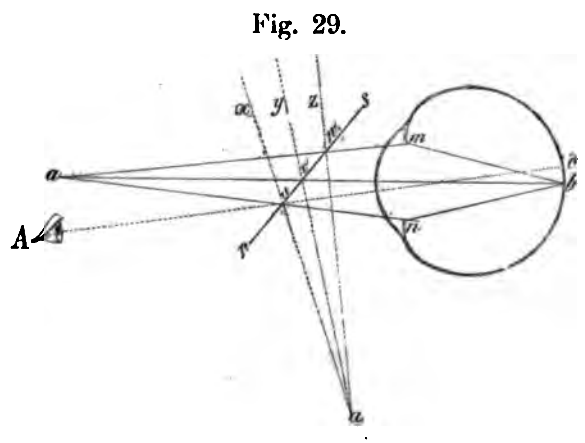
Wir werden den Gegenstand elementar erörtern, weil diess zum Verständniss vollkommen hinreicht. — Dass die Pupille der Menschen und Thiere unter manchen Verhältnissen leuchte, ist eine alte Beobachtung. Man hat oft Gelegenheit, das Auge von Hunden, Katzen u. a. Thieren im Helldunkel leuchten zu sehen, namentlich, wenn man Brillen trägt. Während von Manchen das Phänomen des Augenleuchtens auf die abenteuerlichste Weise gedeutet wurde, haben verständige Physiologen und Pathologen niemals bezweifelt, dass es auf Reflexion des Lichtes aus dem inneren Auge beruhe. Mery (ann. de l'acad. des sc. 1709), La Hire (ibid.), Prevost (bibl. britann. t. 45. 1810), Kussmaul

(Die Farbenerscheinungen des Auges. 1845.), Cumming (med. chir. transact. v. 29. 1846), Brücke (Müller's Arch. 1845, 1847.) widmeten dem Gegenstande ihre Aufmerksamkeit. In den ophthalmologischen Schriften kommen namentlich zahlreiche Beobachtungen von Augenleuchten bei pathologischen Veränderungen der Retina, Chorioidea, des Glaskörpers vor. H. Helmholtz (Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge. Berlin, 1851.) aber gebührt das grosse Verdienst, die Theorie des Augenleuchtens mit voller Klarheit entwikelt, und zugleich der Erste ein Instrument construirt zu haben, mit welchem es möglich ist, die Details des inneren künstlich beleuchteten Auges zur Anschauung zu bringen. Mehrfach hat Helmholtz selbst den Gegenstand später noch weiter verfolgt (Archiv f. phys. Heilk. 1852, und Allg. Encykl. d. Physik v. Karsten, Leipzig, 1856). Mit lebhaftem Interesse wurde aber derselbe auch allseitig aufgenommen, und die ophthalmoskopische Literatur ist rasch zu beträchlichem Umfange angeschwollen (s. u. A. Zander: Der Augenspiegel. 1859, wo die Literatur bis dahin vollständig mit mehr als 160 Schriften und Journalartikeln beziffert erscheint).

§. 34. Theorie des Augenleuchtens.

Die Pupille eines Auges erscheint uns unter gewöhnlichen Verhältnissen schwarz, d. h. wir sehen nichts von dem Lichte, welches durch dieselbe von dem inneren Auge (Retina, Chorioidea) nach aussen gelangt. In anderen Fällen dagegen können wir allerdings ein geringes Leuchten der Pupille wahrnehmen. Um dies zu begreifen, ist es nöthig, den Gang der Lichtstrahlen zu kennen, welche durch die Pupille nach aussen dringen. Wir haben hier einen doppelten Fall zu betrachten.

Fig. 29.

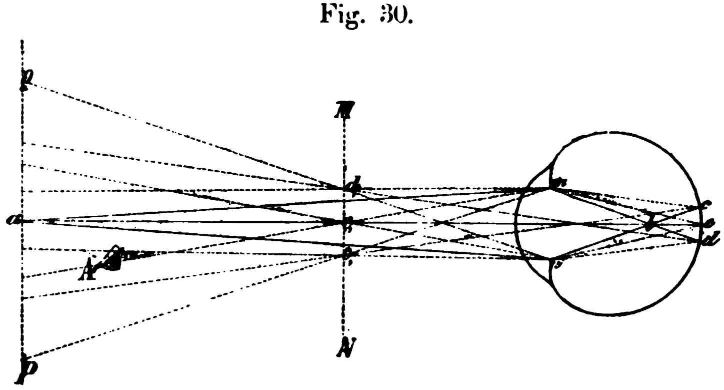


1. Das Auge ist für eine Leuchtquelle accomodirt. Befindet sich in a (Fig. 29.) ein leuchtendes Object, von welchem ein Strahlenkegel amn in das Auge eindringt, so entsteht das Bild von a in dem Punkte b der Netzhaut. Betrachtet man nun den Netzhautpunkt b

als leuchtendes Object, so muss offenbar der Lichtkegel *b m n*, welcher durch die Pupille nach aussen dringt, in *a* seinen Vereinigungspunkt haben, d. h. alles Licht, welches von der Netzhaut aus dem Auge dringt, geht wieder zu dem leuchtenden Punkte zurück. Ein Beobachter *A* kann kein Licht von dem Punkte *b* in sein Auge bekommen, sondern er sieht nur die unbeleuchtete Netzhautstelle *c*, d. h. ihm erscheint die Pupille dunkel. Wollte er den Punkt *b* sehen, so müsste er sich in die Continuität des Strahlenkegels *a m n* stellen, was „ohne weitere Hilfsmittel natürlich nicht angeht, ohne dem beleuchteten Auge das Licht abzuschneiden." (Helmholtz.) Durch eine einfache Vorrichtung wird es jedoch leicht möglich, den leuchtenden Punkt *b* der Netzhaut zu sehen. Stellt man zwischen das Auge und die ursprüngliche Leuchtquelle *a* ein gewöhnliches Glas *r s* mit parallelen Oberflächen auf, so fällt das von *a* ausgehende Licht in *u v w* auf die vordere Wand des Glases, und ein Theil desselben wird nach *x y z* gebrochen. Ein anderer Theil geht jedoch ungehindert durch das Glas nach *b*. Von *b* aus gelangt das Lichtbündel zurück nach *u v w*. Hier geht abermals ein Theil durch Spiegelreflexion nach *a'* und der andere Theil durch das Glas nach der Leuchtquelle *a* zurück. Stellt sich nun ein Beobachter in die Continuität des Lichtkegels *a' u v w*, so sieht er offenbar hinter *r s* ein Spiegelbild des Punktes *b*, ohne den Gang des Lichtes von *a* nach *b* zu alteriren. Man kann ebensowohl die Leuchtquelle von *a* nach *a'* versetzen, und der Beobachter kann dann in die Continuität des Lichtkegels *a u v w* mit seinem Auge eintreten.

2. Das Auge ist für die Leuchtquelle nicht accomodirt. Offenbar sind hier wieder 2 Fälle denkbar: das Auge kann nemlich f e r n e r oder n ä h e r als der Leuchtpunkt eingestellt sein. Wir betrachten den Fall näherer Einstellung. Es sei (Fig. 30) ein leuchtender Punkt *a*

Fig. 30.



in der Ebene *Q P*. Der von ihm ausgehende Strahlenkegel *a m n* kommt im Auge in dem Punkte *b* vor der Netzhaut zur Vereinigung, da das Auge für die Ebene *M N* eingestellt ist. Auf der Netzhaut entsteht ein Zerstreuungskreis von dem Durchmesser *c d*. Die von den Retinalpunkten *c e d* zurückkehrenden Lichtstrahlen haben ihren Vereinigungspunkt, ihr Bild in der Ebene *M N* und zwar in *c' e' d'*. Nach geschehener Vereinigung fahren die Strahlenbündel wieder aus einander, und würden auf der Ebene *Q P* eine Fläche von dem Durchmesser *Q P* beleuchten. Man sieht, dass unter diesen Verhältnissen der Beobachter *A*, auch ohne in die Continuität des Lichtkegels *a m n* mit seinem Auge einzutreten, den Augengrund leuchtend sehen könne, wenn er sich nur irgendwo in den abgestumpften Lichtkegel *Q P e' d'* mit seinem Auge *A* aufstellt.

§. 35. Kennt man so den Gang der Lichtstrahlen aus dem Auge, und die allgemeinen Bedingungen, unter welchen das Augenleuchten wahrgenommen werden kann: so ergeben sich bei fernerer Berücksichtigung der optischen Gesetze die Bedingungen mit Leichtigkeit, unter denen es möglich ist, die grösste Helligkeit des Augenleuchtens zu erreichen, und damit ein ophthalmoskopisches Instrument von der grössten Leistungsfähigkeit zu construiren.

1. Vorerst handelt es sich darum, das untersuchende Auge möglichst abzublenden von der Leuchtquelle nicht allein, sondern auch von jedem anderen, als dem Lichte, das aus der Pupille des beobachteten Auges kommt. Man untersuche daher im dunklen Raume, schütze das untersuchende Auge, und ebenso das Gesicht des Patienten vor der Leuchtquelle durch eine Blende, einen Schirm, und leite möglichst alles Licht nur auf die Pupille des beobachteten Auges. Die Reflexion der Cornea des Patienten wird nie ganz zu vermeiden sein, man kann sie aber minder störend machen durch seitliche Verschiebung des Reflexbildes (mit Linsen, oder durch Drehen des Auges).

2. Je weiter die Pupille des untersuchten Auges, desto grösser die Basis des Lichtkegels, welcher in das Auge dringt, desto intensiver also auch das Leuchten der Retina. (Eine künstliche Erweiterung der Pupille wird daher zur ophthalmoskopischen Untersuchung immer gefordert, wenn sie auch vom ophthalmologisch-praktischen Gesichtspunkte aus nicht immer gestattet ist.)

3. Das Leuchten der [illegible] ist relativ am grössten, wenn alles Licht (Fig. 29) [illegible] en ist, in *b* auf der Netzhaut zur Verei[illegible] Patient für die Leuchtquelle

accomodirt ist. Je grösser die Zerstreuungsscheibe *c d* (Fig. 30) d. h. je weiter die Accomodationsebene *M N* von der Leuchtebene *Q P* entfernt ist, mit um so geringerer Intensität leuchtet jeder Retinalpunkt *c*, *e* oder *d*. Der Patient fixire daher möglichst genau die Flamme oder ihr Spiegelbild, oder bei Jenen, welche nicht genau fixiren können, sei die Leuchtquelle mindestens irgendwo im Raume zwischen dem Nah- und Fernpunkt ihrer refractorischen Einstellung angebracht, was freilich in praxi nicht immer strenge durchführbar ist.

4. In das Auge des Beobachters gelangen gleichfalls im Allgemeinen um so mehr Lichtstrahlen aus der Pupille des Kranken, je näher er dem Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen sich befindet. wenn also in Fig. 29 sein Auge in *a* und Fig. 30 in *MN* steht, d. h. das Auge (die Pupille) des Beobachters stehe möglichst in der Accomodationsebene des Patienten.

5. Die Beleuchtung der Retina des beobachteten Auges ist ferner abhängig von der Leuchtintesität der Lichtquelle. Man wählt hiezu Kerzen-, noch besser Licht einer argandischen Zuglampe. Gern wähle ich auch die Untersuchung bei Tageslicht, indem ich dasselbe durch ein Loch im Fensterladen in den sonst verdunkelten Raum leite. Die Verhältnisse der Untersuchung machen es im Allgemeinen wünschenswerth, das Licht nicht direct auf das Auge zu leiten, sondern hiezu R e f l e c t o r e n zu verwenden.

6. Hier gilt zunächst, dass die Leuchtquelle und Reflector (wegen dem bekannten Gesetze des Lichtverlustes auf dem Wege zum Auge) dem beobachteten Auge möglichst nahe stehe. Es ist im Allgemeinen wünschenswerth, die Leuchtquelle oder ihr Spiegelbild nicht über $1^1/_2$ Fuss vom Auge zu entfernen.

7. Aus demselben Grunde darf auch der Beobachter nicht wohl über 8—10 Zoll vom untersuchten Auge entfernt stehen.

8. Um die Pupille leuchten zu sehen, genügt, wie Helmholtz nachwies, jede einfache Glastafel als Reflector. Aber man überzeugt sich leicht, dass wegen dem Versluste des Lichtes an den spiegelnden Flächen die Helligkeit nur sehr gering ist. Helmholtz versuchte daher durch zwei Mittel die Helligkeit zu verstärken: durch eine passende Wahl des Winkels, unter welchem das einfallende Licht von der spiegelnden Platte reflectirt wird, und durch Vergrösserung der Zahl der spiegelnden Platten. Man erreicht nahe das Maximum der Helligkeit, wenn man das Licht von einer Glasplatte ungefähr unter dem Winkel von 70° von dreien unter 60°, von vier unter 55° reflecti-

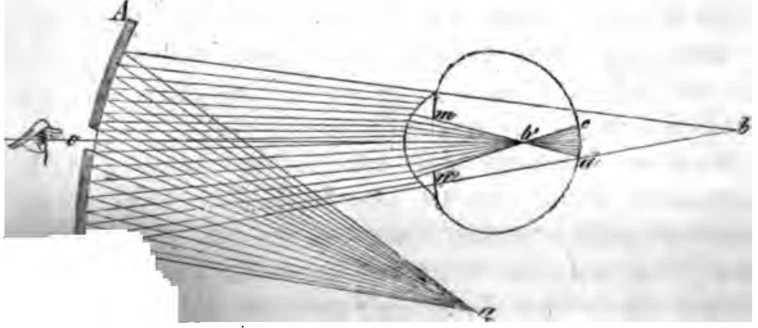
ren lässt. Helmholtz empfiehlt aber mehrere Glasplatten zu wählen, einmal weil man dieselben nicht so schief halten muss; namentlich aber, weil dann die scheinbare Helligkeit des Hornhautbildes jener des Netzhautbildes nicht proportional ist, indem das Licht durch die spiegelnde Reflexion der Cornea polarisirt wird. Nichtsdestoweniger hat das Helmholtz'sche Beleuchtungsprincip keinen Eingang in die ophthalmologische Praxis gefunden. Man erreicht damit die gewünschte Helligkeit immer noch nicht, denn es gelangt kaum $^1/_5$ des ursprünglichen Lichtes in das Auge des Beobachters, auch wenn sonst alle anderen Bedingungen des Augenleuchtens möglichst günstigt gestellt werden.

9. Man kann ferner zu Reflectoren Planspiegel (von Glas, besser von Metall) unter Umständen auch Reflexionsprismen verwenden. Offenbar eignen sich diese Spiegel besser, als einfache Glasplatten, indem sie nahe alles Licht, welches auf sie fällt, reflectiren. Doch ist die Menge des Lichtes, welche sie in das Auge senden, wesentlich abhängig von dem Pupillendurchmesser und dem Abstande der Leuchtquelle oder ihres Spiegelbildes von dem beobachteten Auge. Ist die Pupille irgend enge, und der Abstand der Leuchtquelle beträchtlich, so geben auch Planspiegel nur eine ungenügende Beleuchtung.

10. Ruete hat das wesentliche Verdienst, die Beleuchtung des Auges nach dem Principe des Hohlspiegels, den er zugleich auf sehr sinnreiche Weise in der Mitte durchbohrte, eingeführt zu haben. Alle neueren ophthalmoskopischen Instrumente sind, mit principiell unwesentlichen, wenn gleich praktisch hie und da werthvollen Modificationen, aus dem Rueteschen Spiegel hervorgegangen. Wenn (Fig. 31) von einem leuchtenden Objecte a divergentes Licht auf den Hohlspiegel A B fällt, so wird es von diesem convergent gebrochen,



Fig. 31.



und sein Vereinigungspunkt fiele nach b. Wird nun das Auge in die Continuität des Kegels ABb hineingestellt, so geht je nach der Aufstellung des Auges entweder nur ein Theil, oder selbst alles Licht, welches von dem Spiegel kommt, durch die Pupille $m\,n$. Das convergent aufgefallene Strahlenbündel wird durch die collective Kraft der Augenmedien noch mehr gesammelt, vereiniget sich vor der Netzhaut im Glaskörper in b' und projicirt sodann auf die Netzhaut die Zerstreuungsscheibe von dem Durchmesser $c\,d$. Dass diese Zerstreuungsscheibe bei gleichem Durchmesser mehr Licht enthalten müsse, also mit grösserer Helligkeit leuchten müsse, als die Zerstreuungsscheibe $c\,d$ in Fig. 30, ist selbstverständlich; denn die Summe des Lichtes, welches durch die Pupille mn eindringen kann, ist im Allgemeinen bei convergentem Lichte grösser, als bei divergentem. Der Gang des Lichtes aus dem Auge ist derselbe, wie er Fig. 30 dargestellt wurde. Ein Theil des zurückkehrenden Lichtes dringt durch das Loch o im Spiegel und wird von dem dort aufgestellten Auge des Beobachters aufgefangen.

Für den sphärischen Hohlspiegel gilt die Gleichung $\frac{1}{\alpha} = \frac{2}{r} - \frac{1}{a}$ wobei α die Vereinigungsweite der Lichtstrahlen, a die Objectferne, r den Radius der Krümmung des Spiegels bedeutet. Da $\frac{r}{2} = p$, d. i. gleich der Brennweite des Spiegels ist, so ist auch $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$ welcher Ausdruck mit Leichtigkeit die für unseren Zweck geforderte Brennweite oder Vereinigungsweite oder Objectferne finden lässt.

Bei der Hohlspiegelbeleuchtung des Auges ist wie immer, im Allgemeinen wünschenswerth, dass der Vereinigungspunkt des Lichtes auf die Netzhaut, oder doch nicht weit von ihr entfernt falle. Mindestens soll die Zerstreuungsscheibe, mit der die Netzhaut leuchtet, möglichst klein sein. Offenbar wird dies am besten erreicht, wenn $\alpha = \infty$ d. h. wenn die Strahlen in einer mit dem Hauptstrahl parallelen Richtung reflectirt werden. Es mus dann $a = p$ sein, also $\frac{1}{\alpha} = o$. Es gilt diess aber selbstverständlich nur für Augen, welche für paralleles Licht accomodirt sind. Für die Beleuchtung kurzsichtiger Augen wird es wünschenswerth sein, dass $a < p$ sei. Nur bei hyperpresbyopischen Augen wird $a > p$ sein können. Doch lehrt die Praxis, dass immerhin eine mässige Convergenz der in die Pupille eindringenden Strahlen

gestattet werden kann, welche es ja wieder möglich macht, mehr Licht in das Auge zu senden, und damit die geringe Leuchtintensität der Zerstreuungsscheibe auf der Netzhaut zu compensiren.

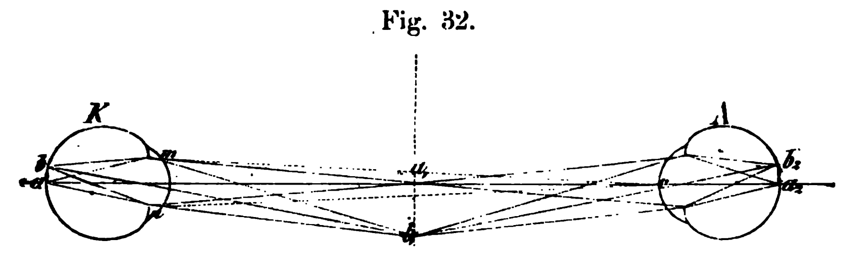
Nach dem Erörterten stehen *a* und *p*, d. h. die Objectferne und Brennweite bei der Hohlspiegelbeleuchtung in ziemlich engem Verhältnisse. Freilich wird dieses Verhältniss oft wesentlich geändert durch zwischen den Spiegel und das Auge geschobene Linsen. Im Allgemeinen kann gesagt werden, dass, wenn Sammellinsen zwischengestellt werden, die Beleuchtung des Auges nur dann günstig bleibe, wenn bei gleicher Spiegelbrennweite die Objectferne verkürzt wird. Denn die Combination des Spiegels mit einer Convexlinse verkürzt ja die Brennweite desselben. Ebenso wird eine lange Brennweite des Spiegels oder die Combination desselben mit einer Concavlinse die Objectferne im Allgemeinen verlängern müssen. Bisher werden meist Hohlspiegel von 8—10″ Brennweite verwendet. Spiegel von kürzerer Brennweite werden sich nur für die Untersuchung im aufrechten Bilde bei dem untersuchten Auge vorgesetzten Concavlinsen empfehlen. Entschieden von Vortheil werden jedoch für die meisten Fälle Spiegel von noch längerer Brennweite als 10″ sein, namentlich für die Untersuchung im umgekehrten Bilde. Wegen der Abhängigkeit der Brennweite von dem Orte der Leuchtquelle, der Lampe, kann man jedoch ersterer kaum einen grösseren Werth als bis 18″ geben. Anders gestaltet sich freilich das Verhältniss, wenn die Linse zwischen der Vereinigungsweite des Spiegels und dem beobachteten Auge aufgestellt wird. In diesem Falle wird sie immer von divergentem Lichte getroffen. Eine Zerstreuungslinse würde dann die Helligkeit erheblich vermindern; mit einer Sammellinse kann jedoch auch dann noch eine ausreichende Beleuchtung der Netzhaut erzielt werden, wenn der Beobachtete nur noch mindestens nahe auf die Objectferne dieser Linse zu accomodiren vermag, was bei Normalsichtigen und Weitsichtigen in der That möglich ist.

§. 36. Darstellung eines deutlichen Bildes der Netzhaut.

Auch bei der besten Methode, das untersuchte Auge zu beleuchten, sieht man meist blos die Pupille gleichförmig roth leuchten, vermag jedoch keine Details auf dem Augengrunde wahrzunehmen. Zuweilen gelingt dies jedoch, und zwar in folgenden 2 Fällen:

Fig. 32 sei *K* das Auge eines Kranken, der Netzhaut-
lurch die oben erörterten Bedingungen leuchtend gemacht.

Fig. 32.



Ist nun das Auge für die Ebene des Punktes a' accommodirt, so erscheint in a' das reelle Bild des Netzhautpunktes a. Steht der Beobachter mit seinem Auge A in einer Distanz a' A von diesem reellen Bilde, für welche sein Auge accommodiren kann, und fixirt er dasselbe wirklich, so entwirft sich auf seiner Netzhaut in a_2 ein deutliches Bild von a_1. Selbstverständlich gilt dies auch von dem Punkte b, dessen Bild in b_1 und dessen Projection in b_2 auf der Netzhaut des Beobachters stattfindet. Wenn demnach die Entfernung des Arztes und Kranken gleich ist der Summe der wechselseitigen Sehweiten (besser gesagt, der beiden Einstellungsweiten), so kann Ersterer die Details des Augengrundes bei Letzterem in dem Bilde a_1 b_1 sehen.

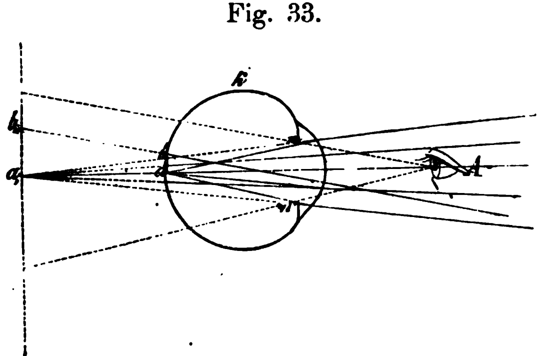
Es ist nun leicht begreiflich, dass sich diese Art der Untersuchung um so günstiger stellen müsse, je geringer die Ziffer der beiden Einstellungsweiten ist. Beiderseitige Myopie ist zunächst wünschenswerth, und Einstellung beider Myopiker für den Nahepunkt. Sind z. B. Beide auf 4 Zoll eingestellt, so wird die Entfernung des Arztes vom Kranken nur 8 Zoll betragen müssen, welche Entfernung genügt, um sowohl eine günstige Beleuchtung des Augengrundes als ein ausreichendes Gesichtsfeld zu erzielen. Beträgt die Summe der Einstellungsweiten mehr als 8 Zoll, so ist die Untersuchung schon wegen dem geringen Gesichtsfeld werthlos, wenn auch noch ein ausreichendes Augenleuchten zu Stande käme. Das Auge des Beobachters sieht nemlich von dem Bilde in der Ebene a_1 b_1 nur jenen Theil, welcher durch die Linien $m\,o$ und $n\,o$ begrenzt wird, d. h. jene Linien, welche von den Pupillarrändern des Kranken zu dem Auge A gezogen werden. Je stärker das Bild in a_1 b_1 vergrössert ist, um so distanter von dem Auge K ist es auch, und um so kleiner muss das Gesichtsfeld werden. In der ophthalmologischen Praxis kommen jedoch genug zahlreiche Fälle vor, wo unter den erwähnten Verhältnissen eine ganz ausreichende ophthalmoskopische Untersuchung vorgenommen werden kann. — Diese Methode heisst die Untersuchung im umgekehrten oder auch im reellen Bilde, weil das Bild a_1 b_1

welches mit Rücksicht auf das Retinalobject *b a* ein verkehrtes ist, vom Beobachter unmittelbar angeschaut wird.

2. Der bisher betrachtete Fall war ein solcher, wo das untersuchte Auge für einen sehr nahen Punkt im Raume eingestellt ist, und die aus dem Auge kommenden Lichtstrahlen gegen denselben convergiren. Ist jedoch ein normales Auge im Ruhezustande, d. h. für ein sehr fernes Object eingestellt, so dringen die Lichtstrahlen aus der Pupille in paralleler Richtung. Ja es gibt nicht seltene Fälle von Hyperpresbyopie, wo selbst von dem Augengrunde divergirende Lichtstrahlen aus dem Auge kommen. Alle Ebenen des inneren Auges, welche vor der hintern Brennpunktsebene liegen, müssen selbst im normalen ruhenden Auge immer divergentes Licht aussenden. Unter diesen Verhältnissen ist die ophthalmoskopische Untersuchung der Details immer sehr leicht. Dringt paralleles Licht aus dem Auge, und kann der Beobachter für solches accommodiren, so vermag er in jeder Entfernung die Details des Augengrundes zu sehen. Ist das Licht nicht vollständig parallel, aber sehr mässig convergirend, so wird der Beobachter, wenn er sich dem Auge nähert, und demnach mit seinem Auge nur die der Axe nahen Strahlen unmittelbar nach ihrem Austritte aus dem untersuchten Auge auffängt, die Details gleichfalls ganz wohl unterscheiden. — Kommt endlich divergentes Licht aus dem Auge, so sind die Bedingungen des Deutlichsehens folgende:

Es sei in *k* (Fig. 33) das Auge des Kranken. Von dem Netzhautpunkte *a* geht ein Strahlenkegel *a m n* durch die Pupille. Nach der Brechung durch die Cornea nehmen die divergirend ausfahrenden Strahlen eine solche Richtung, dass sie aus einem Punkte $a_{,}$ zu kommen scheinen, welcher hinter dem Auge *k* liegt. In $a_{,}$ ist also das virtuelle, aufrechte Bild des Punktes *a*. Tritt nun der Beobachter in die Richtung des aus dem beobachteten Auge kommenden Lichtkegels mit seinem Auge *A* ein, und accommodirt er für die Ebene

Fig. 33.



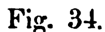
…n sieht er daselbst die Details des Augengrundes im auf-
…, was von dem Punkte *a* gilt, auch von *b* gelten muss,

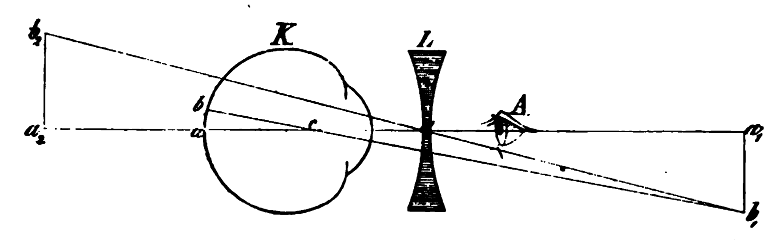
dessen Bild in b_1 entsteht, so ist sogleich ersichtlich, warum diese Methode der Untersuchung jene im aufrechten, virtuellen Bilde genannt wird. Das Gesichtsfeld ist wieder gegeben durch den Abschnitt der nach dem Bilde a_1 b_1 verlängerten Linien $A\,m$ und $A\,n$. Man sieht, dass bei dieser Methode im Allgemeinen eine beträchtlichere Annäherung der Augen des Arztes und Kranken gestattet ist. Das Gesichtsfeld ist offenbar wesentlich bedingt durch diese Entfernung, so wie durch den Diameter der Pupille des Kranken.

§. 37. Da die oben erörteten Methoden der ophthalmoskopischen Untersuchung von mehren zufälligen Umständen, namentlich von bestimmten, nicht immer vorkommenden Einstellungszuständen der Augen des Arztes und Kranken abhängig sind: so sind zunächst die Mittel zu finden, um in allen Fällen die eine oder die andere Methode der Untersuchung je nach Bedarf wählen zu können. Diese Mittel liegen nahe. Für die Untersuchung im umgekehrten Bilde verwandle man eines oder beide Augen durch Vorsetzen von Convexlinsen in myopische. Für die Untersuchung im aufrechten Bilde dagegen muss mindestens ein Auge durch Vorsetzen von Dispansivlinsen in ein hyperpresbyopisches verwandelt werden

Die methodische Untersuchung im aufrechten Bilde.

Hiezu verwendet man Concavlinsen. Es sei K (Fig. 34) das Auge eines Kranken, in $a\,b$ eine Netzhautpartie. Die von a und b ausge-


Fig. 34.



sendeten Lichtstrahlen convergiren nach ihrer Brechung durch die Cornea gegen a_1 und b_1 in der Accommodationsebene des Patienten, woselbst ein umgekehrtes vergrössertes Bild a_1 b_1 von a b entstehen würde. Durch die vorgesetzte Concavlinse L, deren Brennweite kleiner ist als $L\,a_1$ werden die Lichtstrahlen jedoch von ihrer Richtung abgelenkt, divergiren nach ihrem Durchgange durch die Linse, und

ihr imaginärer Vereinigungspunkt fällt nun vor die Linse in die Ebene der Punkte b_2 a_2, wo demnach der Ort des virtuellen Bildes von a b ist. Steht nun ein Beobachter in A hinter der Linse und accommodirt er für die Ebene b_2 a_2, so sieht er er daselbst das vergrösserte Bild von a b in der linearen Ausdehnung b_2 a_2.

Der allgemeine Ausdruck für die Zerstreuungsweite der Linse ergibt sich aus der bekannten Linsenformel $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ wobei p die Brennweite, a die Objectferne, α die Bildweite bezeichnet.

Nennen wir in unserem Falle die Einstellungsweite des Kranken $K a_1 = S$, jene des Arztes $A a_2 = S_1$; ferner den Abstand des kranken Auges von der Linse $K L = d$, und jene des Beobachters $A L = d_1$, so ist in unserem Falle offenbar sowohl a als α gegeben. Es ist nemlich

$$a = - (S - d)$$
$$\alpha = - (S_1 - d_1)$$

denn es ist die Objectferne mit Rücksicht auf die Richtung der Lichtstrahlen hinter, die Bildweite vor der Linse zu suchen, also

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{-(S-d)} + \frac{1}{-(S_1-d_1)}$$

daher $p = - \left[\frac{(S_1-d_1)\ (S-d)}{(S-d) + (S_1-d_1)}\right]$

Also erfordert diese Untersuchung in der That ein Zerstreuungsglas. Es gilt diese Formel jedoch offenbar nur für den Fall fixer Accomadation. Sind ferner beide Augen für unendliche Ferne accommodirt, also $a = \alpha = \infty$, dann wird auch $p = \infty$, d. h. es ist keine Linse nöthig. Diess gilt schon, wie früher erwähnt, bei weiter Einstellung beider Augen überhaupt, wenn dieselben nur nahe beisammen stehen. Im Allgemeinen sind jedoch um so schärfere Gläser nothwendig, je kürzer die Sehweiten entweder des Arztes oder Kranken, oder beider sind, und je grösser die Distanz eines oder beider Augen von der Linse ist. Sind ferner die Sehweiten gleich, so ist es gleichgiltig, ob die Linse dem einen oder dem anderen Auge näher steht. Sind sie ungleich, und liegt die Linse dem beobachtenden Auge näher, dann muss sie schärfer sein, wenn dieses weitsichtiger ist als das beobachtete; dagegen schwächer, wenn das Beobachtende kurzsichtiger ist u. s. w. Im Allgemeinen ist es jedoch schenswerth, die Linse dem beobachtenden Auge sehr nahe zu

bringen, wo dann d_1 vernachlässigt werden kann, und sich daher obige Formel vereinfacht in

$$-p = \frac{(S-d)\ S_1}{(S-d) + S_1}.$$

Die Zerstreuungslinsen, welche zu den meisten Untersuchungen ausreichen, sind Nro. 4, 6, 8, 12, ja die schärferen dieser Gläser werden nur in jenen Fällen nöthig, wo der Arzt oder Kranke oder Beide hochgradig myopisch sind.

Was die Vergrösserung betrifft, welche bei dieser Art von Untersuchung erreicht wird, so ergibt sie sich folgendermassen. Es ist zunächst in Fig. 34 $\frac{a_1\ b_1}{a\ b} = \frac{a_1\ c}{a\ c}$, wobei $a\ b$ die lineare Einheit des Objectes bedeutet; ferner $a_1\ c = S$, d. h. der Sehweite des Kranken, und $a\ c$ gleich der Entfernung der Netzhaut von dem Kreuzungspunkte der Richtungslinien, nach Listing nahe $= 15$ Millim.; endlich $a_1\ b_1 = m$ d. h. die Vergrösserung des Luftbildes der Netzhaut, wenn dieses zu Stande kommen könnte, also

$$m = \frac{S}{15 \text{ Millim.}}.$$

Für das Vorsetzen der Concavlinse ist ferner

$$\frac{b_2\ a_2}{a_1\ b_1} = \frac{o\ a_2}{o\ a_1}$$

wobei $b_2\ a_2 = M$, d. h die Vergrösserung des virtuellen Bildes, $a_1\ b_1 = m$, ferner $o\ a_2 = (S_1 - d_1)$ d. h. der Sehweite des Arztes vermindert um die Distanz seines Auges von der Linse, endlich $o\,a_1 = (S-d)$, d. i. die Sehweite des Kranken vermindert um die Distanz von der Linse, also

$$M = \frac{(S_1 - d_1)\ m}{S-d.}.$$

Sei z. B. $S = 300$ Millim., $S_1 = 300$ Millim., $d = 50$ Millim., $d_1 = 20$ Millim., so ist $m = 20$ und $M = 22{,}4$.

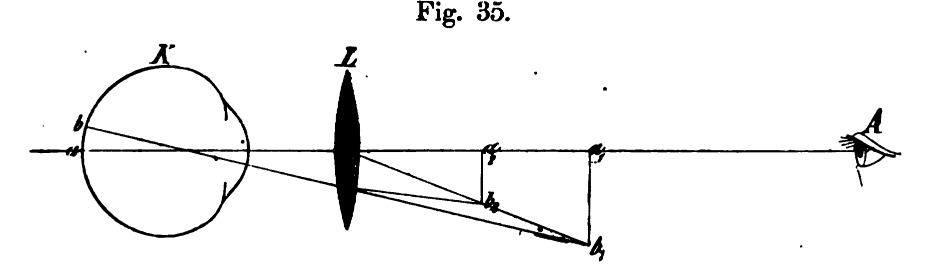
Es ist leicht einzusehen, dass die Vergrösserung mit der Zunahme der Sehweiten wachsen müsse, und daher im Allgemeinen hier in der That sehr erhebliche Vergrösserungen erreicht werden können.

Untersuchung im umgekehrten Bilde.

§. 38. Hiezu verwendet man Convexlinsen. Es reicht meist hin, eine solche Linse in mässige Entfernung vor das untersuchte Auge zu

stellen. Es sei (Fig. 35) K das zu untersuchende Auge, dessen Netzhautpartie a b leuchtend gemacht ist. Die von a und b durch die Pupille

Fig. 35.



dringenden Lichtbündel convergiren nach erfolgter Brechung durch die Hornhaut nach den Punkten a_1 b_1, woselbst (ähnlich wie in Fig. 32) das Luftbild der Netzhaut entstehen würde. Sie werden jedoch durch die vorgesetzte Convexlinse L von dieser ursprünglichen Richtung abgelenkt und kommen nun in a_2 b_2 zur Vereinigung, woselbst ein verkehrtes Luftbild der Netzhant wirklich zu Stande kommt. Dieses Bild liegt dem beobachteten Auge näher als a_1 b_1. Es kann aber eben so wie a_1 b_1 (Fig. 32) von dem beobachtenden Auge A in dessen Einstellungsweite A a_2 angeschaut werden. Dieses Auge kann ferner, wenn es sich gleichfalls mit einem Convexglase bewaffnet, auch die Linie a_2 A verkürzen, und somit eine beträchtliche Annäherung der Augen aneinander erreicht werden.

In diesem Falle kann man sowohl den Ausdruck für die Brennweite der Linse, als für die Bildweite derselben suchen, und aus der bekannten Linsenformel berechnen. Bezeichnen wir wieder mit p die Brennweite der Linse L, mit $a = a_1\, o = S—d$ die Objectferne für die Linse, mit $\alpha = o\, a_2$ die Bildweite, mit $d = K L$ die Entfernung der Linse von dem beobachteten Auge, so muss in unserem Falle sein

$$p = \frac{(S—d)\ \alpha}{(S—d) — \alpha}$$

$$\text{und} \quad \alpha = \frac{(S—d)\ p}{(S—d) + p}$$

Bei constantem p und d wächst und fällt nun offenbar der Werth von α mit jenem von S, doch wie bei Linsen von kürzerer Brenweite nicht ebenso rasch. Auch steht der Werth der Bildweite, ferner im umgekehrten Verhältnisse zur Distanz der Linse von dem Auge. Es ist endlich sowohl ein Gebot der Vergrösserung als der Beleuchtung, weder zu starke noch zu schwache Convexlinsen zu wählen. Am besten eignen sich solche von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll Brennweite.

Die Vergrösserung bei dieser Art von Untersuchung bestimmt man auf folgende Art. Es wurde bei der Untersuchung im aufrechten Bilde gezeigt, dass

$$a_1\ b_1 = m = \frac{S}{15}$$

für das Vorsetzen der Convexlinsen ist nun wieder

$$\frac{a_2\ b_2}{a_1\ b_1} = \frac{o\ a_2}{o\ a_1}$$

Nun ist $a_2\ b_2 = M$, ferner $o\ a_2 = \alpha$, und $o\ a_1 = S - d = a_1$ also

$$M = \frac{\alpha\ \ m}{S-d}.$$

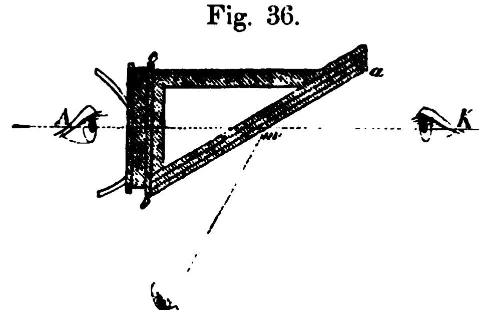
Sei z. B. wieder $S = 300$ Millim., ferner $d = 50$ Millim., $p = 50$ Millim., so ist $\alpha = 41{,}666$, $m = 20$, $M = 3{,}33 \ldots$

Die Vergrösserung ist also im Allgemeinen keineswegs erheblich. Sie kann jedoch mehrfach gesteigert werden, namentlich durch Ocularvergrösserung, indem der Beobachter sein Auge mit einer Convexlinse bewaffnet. Hat ein Beobachter z. B. 18 Zoll Sehweite, und bewaffnet er sein Auge mit Nr. 6 convex, so gibt dieses Glas eine Vergrösserung von $\frac{18}{6} = 3$, und es wird dann die Totalvergrösserung $M \times m = M_1$, in unserem Falle also $M_1 = 9{,}99 \ldots$ oder $= 10$.

Formen der Augenspiegel.

§. 39. 1. Der Augenspiegel von Helmholtz besteht wesentlich aus reflectirenden Glasplatten, welche die Hypothenusenfläche $a\,b$ eines innen geschwärzten prismatischen Kastens $a\ b\ c$ einnehmen (Fig. 36.). Die Kathetenfläche $c\ b$ ist durchbohrt, und in die Öffnung können Concavgläser eingelegt werden. In A steht das Auge des Arztes, in K jenes des Kranken, in L die Leuchtquelle. Das Licht nimmt seinen Weg von L nach m, wird daselbst nach K reflectirt, und geht aus dem Auge K durch den Spiegel nach A. Gross ist die Bedeutung dieses sinnreich construirten, später

Fig. 36.

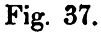


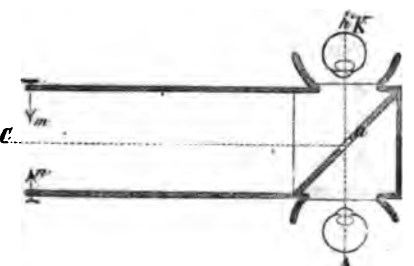
mehrfach modificirten ersten ophthalmoskopischen Instrumentes für die Geschichte der Augenspiegel.

2. Der Augenspiegel von Follin ist jener von Helmholtz, auf ein Stativ gebracht, und mit einer Convexlinse versehen, welche zwischen *L* und *m* (Fig. 36 zwischen Licht und Spiegel) aufgestellt ist. Indem Follin die Brennweite der Linse hinter *L* fallen liess, blieben die auf *m* fallenden Lichtstrahlen divergent, und das Princip der (imaginären) Hohlspiegelbeleuchtung war mit dieser Modification nicht erreicht, wenn auch nahe gelegt.

3. Der Spiegel von Ruete besteht aus einem in der Mitte durchbohrten Hohlspiegel von 3″ Diameter und 10″ Brennweite, welcher auf einem Stativ ruht. Von diesem geht ein Stab in horizontaler Richtung ab, der Brillenfassungen trägt, welche von 1—12 Zoll centrisch vor dem Spiegel aufgestellt werden können. Dieses Instrument kann zur Untersuchung im aufrechten und verkehrten Bilde verwendet werden. Man erreicht damit helle Bilder. Zu klinischen Demonstrationen eignet sich dasselbe ganz wohl. — Die Einstellung ist jedoch umständlich, und für die gewöhnliche Praxis das Instrument überhaupt unbequem. Es verdient aber in vollem Masse gewürdigt zu werden, dass Ruete zuerst die Anwendung des durchbohrten Hohlspiegels für die ophthalmoskopische Untersuchung empfahl, welcher wohl für alle Zeit das beste Beleuchtungswerkzeug des Auges bleiben wird. Ferner dass Ruete zuerst auf den hohen Werth und das thatsächliche Gelingen der Untersuchung im umgekehrten Bilde hingewiesen hat.

4. Der Spiegel von Epkens-Donders (Fig. 37) enthält einen in der Mitte durchbohrten Planspiegel *a*, der in einem kubischen Kasten schräg aufgestellt ist Der Ort der Aufstellung des kranken Auges ist in *K*, jener des Arztes in *A*. Eine der Seitenwände des Kastens steht mit einer Röhre in Verbindung, an deren Ende in *C* ursprünglich eine Lampe angebracht war. Daselbst kann auch eine positive Beleuchtungslinse eingelegt, das Licht aufgestellt werden. Um Messungen anstellen zu können, wird in *C* eine Spitzen-Mikrometervorrichtung angebracht. Die beiden Spitzen *m n* können durch eine Mikrometerschraube bewegt, und an der daselbst befindlichen Skala kann ihr Abstand abgelesen werden. Wenn das Auge *K*


Fig. 37.



scharf auf das Spiegelbild von $m\,n$ accommodirt, so entwirft sich auf seiner Netzhaut ein Schattenbild der Mikrometerspitzen. Ist s der wechselseitige Abstand der Mikrometerspitzen, x dieser Abstand in ihrem Retinalbilde, t die Entfernung der Spitzen von dem Kreuzungspunkte der Richtungslinien des Auges K, beträgt endlich die Entfernung des Kreuzungspunktes von der Netzhaut 15 Millim., so ist

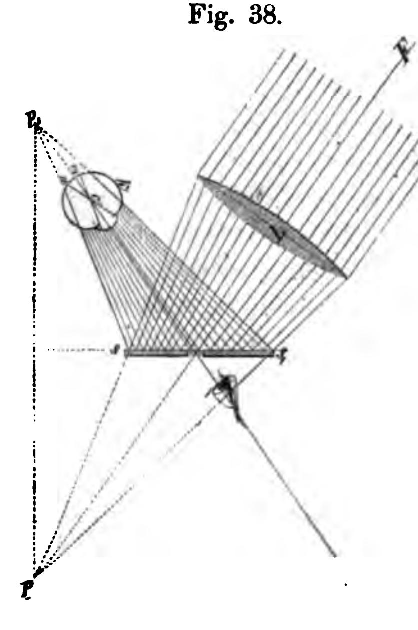
$$\frac{x}{s} = \frac{15}{t}$$

und da s genau, t annähernd genau durch Messung bestimmt werden kann, so lässt sich auch leicht der beiläufige Millimeterwerth von x finden.

Der Spiegel von Epkens ruht auf einem Stabe, welcher an die Tischplatte festgeschraubt wird, und hat die Vortheile, aber auch die Nachtheile aller Spiegel, welche fix aufgestellt werden. Eigenthümlich, und von Werth für exactere Untersuchungen ist die Verbindung desselben mit einem Messapparate, welche Vorrichtung dieser Spiegel zuerst hatte. Auch ist er der Erste gewesen, welcher die Beleuchtung des Auges mit einem durchbohrten Reflector (Planspiegel) erzielte, und scheint Ruete dadurch auf die Idee des durchbohrten Hohlspiegels geführt worden zu sein.

5. Der Spiegel von Coccius ist ein sehr vereinfachter Epkens'scher Reflector. Ein viereckiger durchbohrter Planspiegel auf einer Handhabe. Von dieser geht ein Querbalken aus, welcher eine Convexlinse trägt. Die zur Correction verwendeten Linsen werden in der freien Hand gehalten, oder auch in Brillengestelle eingelegt, und je nach Bedarf dem untersuchenden oder untersuchten Auge vorgesetzt. Die Beleuchtungsverhältnisse dieses Spiegels sind folgende: Es sei (Fig. 38) in F eine Leuchtquelle, in L die Convexlinse, jedoch F in so weiter Entfernung von der Linse, dass die Lichtstrahlen nahe parallel gerichtet auf diese fallen. Durch die Linse werden die Lichtstrahlen so gebrochen, dass sie nach dem Punkte p zur Vereinigung tendiren. Wird nun aber der Planspiegel S

Fig. 38.



in die Continuität dieses Lichtkegels gestellt, so müssen die Strahlen nach p_1 reflectirt werden. Befindet sich ein Auge *K* in der Continuität des reflectirten Lichtkegels, so kann offenbar alles Licht desselben durch seine Pupille gelangen, wenn der Durchmesser des Lichtkegels, welcher auf die Cornea fällt, gleich ist jenem der Pupille. Die Lichtstrahlen vereinigen sich dann in *o* vor der Retinalebene und es entsteht auf dieser im Zerstreuungskreis *m n* das Bild der Leuchtquelle. Das Auge sieht im Spiegel das Bild der Linse *L*, und kann übrigens, während seine Retina von dem Blendungsbilde der Leuchtquelle getroffen ist, beliebig accommodiren. Das hinter dem Spiegel in *A* aufgestellte Auge des Beobachters kann nun das Leuchten des Augengrundes *m n* und je nach der Anwendung der verschiedenen Correctionsmittel auch die Details desselben im aufrechten oder umgekehrten Bilde wahrnehmen.

Die Wirkungsweise dieses Spiegels unterscheidet sich von der des Hohlspiegels durchaus nicht. Man untersucht das Auge in der That mit einem Hohlspiegel (in welchen der Planspiegel durch Combination mit der Collectivlinse verwandelt worden ist) von der Brennweite und dem Durchmesser dieser Linse. Indem aber der Strahlenkegel *L p* durch den Spiegel gebrochen wird, kann das Auge *A*, welches bei Anwendung eines wirklichen Hohlspiegels von derselben Brennweite in *L*, stehen müsste, sich nun hinter den Spiegel aufstellen, und indem es so in der Continuität dieses Kegels steht, sich dem Auge *K* mehr nähern. Hiedurch wird für manche Fälle der Untersuchung, namentlich im aufrechten Bilde ein wesentlicher Vortheil erreicht. Man kann mit Hohlspiegeln von beträchtlicher Brennweite z. B. 10—12 Zoll untersuchen, und doch die Verhältnisse so einrichten, dass die beiden Augen kaum mehr als 2 Zoll von einander stehen. — Ein weiterer Vortheil des Coccius'schen Apparates besteht darin, dass man mit Hohlspiegeln von verschiedener Brennweite abwechselnd untersuchen kann, je nachdem man Beleuchtungslinsen von verschiedener Brennweite wählt. Zur Untersuchung im aufrechten Bilde empfiehlt sich der Spiegel von Coccius sehr. Jene im umgekehrten Bilde, bei welcher der Untersuchende genöthigt ist, die Collectivlinse für Darstellung des reellen Bildes in der Hand zu halten, ist unbequem.

6. Der Spiegel von Zehender ist eine Modification jenes von Coccius. An Stelle des Planspiegels *S* (Fig. 38) befindet sich ein Convexspiegel. Da solche Spiegel im Allgemeinen ein auffallendes Lichtbündel divergenter reflectiren, und diess für jede Richtung des auffallenden Lichtes gilt: so muss offenbar durch Combination der

Beleuchtungslinse L mit einem in S aufgestellten Convexspiegel (je nach der Brennweite dieses Spiegels) die Brennweite p der Linse L entweder bloss verlängert, oder $= \infty$ oder selbst negativ werden.

Der allgemeine Ausdruck für die Vereinigungsweite des Convexspiegels ist

$$\frac{1}{\alpha} = -\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{a}\right)$$

wobei wieder α die Bildweite, p die Brennweite, a die Objectferne bedeutet. Für convergirend auffallende Strahlen ist nun a negativ, daher

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{a} - \frac{1}{p}$$

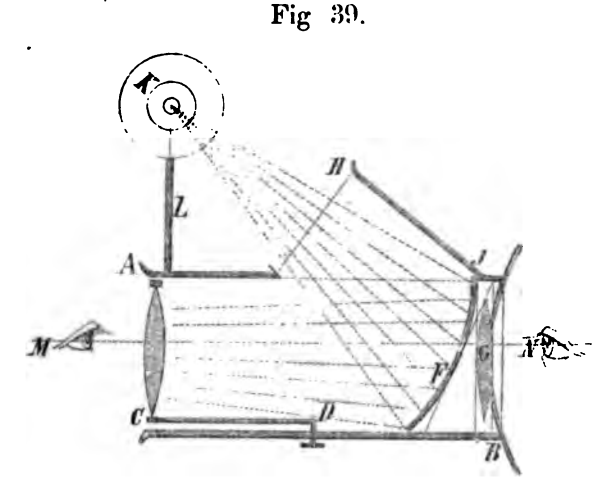
Wird nun $a = p$, so ist $\alpha = \infty$; ist aber $a < p$, so wird α positiv. Soll daher der Convexspiegel nach dem Prinzipe des Hohlspiegels wirken, so müssen die durch eine Sammellinse auf ihn geleiteten Lichtstrahlen ihre imaginäre Vereinigungsweite in einer Entfernung hinter dem Spiegel haben, welche kleiner ist, als dessen Brennweite. Diess Verhältniss kann leicht erreicht werden, wenn man z. B. dem Spiegel und der Beleuchtungslinse 3 Zoll Brennweite gibt, und den wechselseitigen Abstand zwischen 1—$^1/_2$ Zoll wählt. Bei 1 Zoll Abstand der Beleuchtungslinse ist die positive Spiegelbrennweite = 6 Zoll, bei 0,5 Abstand = 15 Zoll. — Der Spiegel von Zehender, bezüglich seiner Wirkungsweise nicht wesentlich von dem Coccius'schen verschieden, verdankt seine grössere Verbreitung und Beliebtheit mehr der sehr gefälligen und compendiösen Form, welche ihn in der That für die Praxis empfiehlt. Das runde Metallspiegelchen, in der Mitte durchbohrt, ist mit einer Handhabe in Verbindung. Zu beiden Seiten des Spiegels gehen Doppelgelenkarme ab, von denen der eine die Beleuchtungslinse trägt, der andere eine Brillenfassung, in welche die zur Detailuntersuchung nöthigen Correctionslinsen eingelegt werden können. Der ganze Apparat, in ein Etui gebracht, nimmt nicht mehr Raum in Anspruch, als ein gewöhnliches Geldtäschchen.

7. Der Augenspiegel von Ulrich nnd Meyerstein. Die beiden Genannten dürften ziemlich zu gleicher Zeit die Idee gefasst haben, das reelle Bild des Augengrundes, welches bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde entsteht, wie es bei anderen ähnlichen optischen Untersuchungen zu geschehen pflegt, in geschwärzten Röhren entstehen zu lassen, wodurch es offenbar an Deutlichkeit gewinnen muss. Indem

aber Meyerstein zu diesem Zwecke ein kleines Fernrohr construirte, welches er in ziemlicher Entfernung hinter dem Loch des Reflectors aufstellte, kam ein verunglückter Apparat zu Stande, der geradezu Nichts leistet; mit aus dem Grunde, weil das Gesichtsfeld des Fernrohrs durch das Loch des Spiegels beträchtlich eingeengt wird. — Ulrich's Spiegel dagegen erreicht obigen Zweck, und ist als eine wesentliche Verbesserung der ophthalmoskopischen Apparate zur Untersuchung im reellen Bilde anzusehen.

In einer 5″ langen Röhre *AB* (Fig. 39) ist eine kürzere *CD* verschiebbar, welche letztere die Objectivlinse *C* trägt. An dem anderen Ende der Röhre *A B* befindet sich der durchbohrte Hohlspiegel *F*, und hinter diesem in einer Hülse die Ocularlinse *G*. Von der Röhre *A B* geht ferner seitlich eine kurze offene Röhre *H I* aus, durch welche das Licht einer kleinen Lampe *K*, die mit der Hauptröhre durch den Stab *L* verbunden ist, auf den Hohlspiegel und von da durch die Linse *C* in das Auge des Kranken *M* geleitet wird. Der Beobachter steht in *N*, und fixirt mit Hilfe des Glases *G* das verkehrte Bild des Augengrundes von dem Auge *M*.

Fig 39.



Obwohl dieser Apparat im Allgemeinen sehr reine Bilder liefert, so hat er doch auch mehrfache Übelstände, die bei der Handhabung recht fühlbar hervortreten. Sie sind: Die Verbindung mit der Lichtquelle, einem lichtschwachen Öllämpchen, welches der Kleidung und den Haaren Gefahr bringt; ferner die Unbeweglichkeit des Spiegels und die unveränderliche Stellung der Objectivlinse senkrecht zur Axe des Instrumentes, wodurch störende Reflexe entstehen; endlich das geringe Mass der Änderung des Abstandes vom Objectiv und Ocular, welche der Apparat gestattet. Diesen Übelständen dürfte durch den folgenden Augenspiegel abgeholfen sein.

8. Mein Augenspiegel zur Untersuchung im reellen Bilde. In einer

Fig. 40.

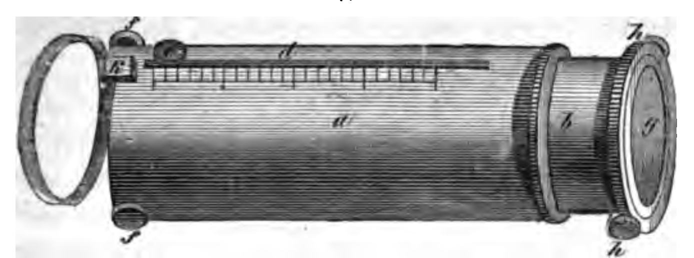
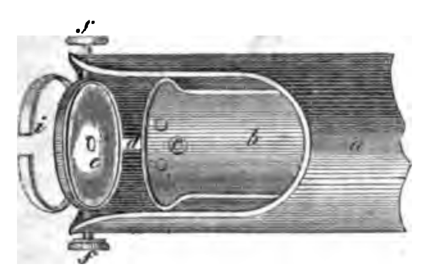


Fig. 41.



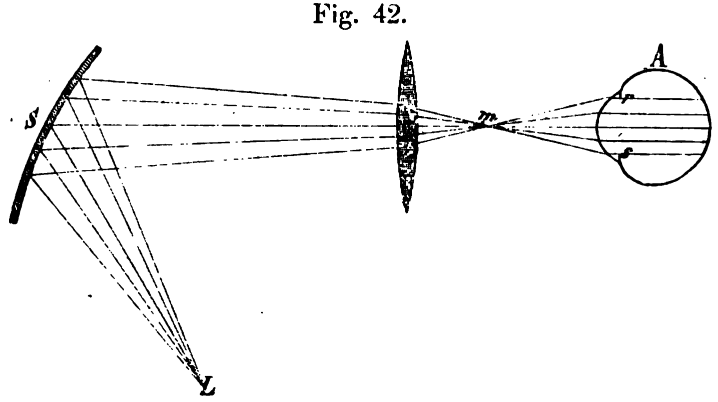
Messingröhre *a* (Fig. 40, 41) ist eine zweite *b* verschiebbar, und kann mittelst der Schraube *c* in jeder Stellung fixirt werden. Diese Schraube bewegt sich in einem Spalt *d* der Röhre *a*. An dem freien Ende dieser Röhre ist ein in der Mitte durchbohrter Hohlspiegel *e* von 7″ Brennweite angebracht, der mittelst der Schrauben *f* gedreht werden kann. Er empfängt das Licht einer seitlich aufgestellten Zuglampe durch einen Ausschnitt der Röhre *a*, welcher in Fig. 41 ersichtlich gemacht ist. An dem freien Ende der Röhre *b* befindet sich in einer Fassung die Convexlinse *g* von 2 Zoll Brennweite, welche gleichfalls mittelst der Schrauben *h* gedreht werden kann. Die Entfernung der Linse *g* von der Spiegelöffnung kann an der Skala, welche sich neben *d* befindet, in Pariser Zollen und Linien abgelesen werden. Diese Entfernung ist auf 8 Zoll ermöglicht.

Bei dem Gebrauche des Instrumentes fasst der Beobachter es mit Daumen und Zeigefinger der einen Hand an den Schrauben *h*, während er die übrigen Finger dieser Hand an die Stirne des zu Untersuchenden legt; das freie Ende der Röhre *b* wird dem beobachteten Auge je nach Bedürfniss auf $\frac{1}{2}$—$1\frac{1}{2}$″ nahe gebracht. Mittelst der Schrauben kann zu gleicher Zeit die Linse *g* so um die senkrechte Axe gedreht werden, dass die Reflexbilder zur Seite abweichen. Mit Daumen und Zeigefinger der andern Hand wird die Ocularröhre an den Schrauben *f* gefasst, der Ausschnitt dieser Röhre der zur Seite aufgestellten Zuglampe zugewendet, und dem Spiegel mittelst der Schrauben jene Richtung gegeben, welche erforderlich ist, um das Licht durch die Axe der Röhre in das beobachtete Auge zu leiten. Wenn nun das Auge leuchtet, so wird durch Verschiebung der Röhren die Correction eingeleitet; meist wird die Convexlinse Nr. 2 als Objectiv genügen; nur Weitsichtige werden nöthig haben, in die Brillenfassung noch eine

schwache Sammellinse Nr. 8 — 20 als Ocular einzulegen, wie dieses Glas auch nöthig ist, um eine stärkere Vergrösserung des Bildes zu erreichen.

Die Brauchbarkeit dieses im Jahre 1853 construirten Instrumentes, dessen Anwendung für den mit der Theorie des Augenspiegels Vertrauten wenig Übung fordert, welches ich täglich gebrauche, und zum Unterrichte verwende, ist, wie ich glaube, unbestritten. Es nimmt keinen grossen Raum in Anspruch, ist portativ, das Bild wird, da die Röhren leicht verschiebbar sind, in allen Fällen leicht gefunden und leicht bewahrt, die Bewegungen des Instrumentes sind frei, die Reflexbilder durch Drehungen des Spiegels oder der Objectivlinse leicht zu beseitigen. Das Bild erscheint in der geschwärzten Röhre besonders rein und deutlich; verschiedene Oculare können mit Leichtigkeit in die Brillenfassung eingelegt werden, und endlich kann bei bekanntem Accomodationszustande des Beobachters, bei constantem Abstande des Objectivs von dem beobachteten Auge, sowie bei normirtem Abstande des Objectivs vom Ocular immer annäherungsweise aus dem jedesmaligen Stande der Schraube an der Skala der Refractionszustand des beobachteten Auges bestimmt werden. Für die Verhältnisse der **Beleuchtung** mit diesem Spiegel diene noch folgendes Beispiel. Es sei (Fig. 42) in L eine Lampe, in S der Hohlspiegel von 7″ Brennweite. Ist z. B. $LS = 18''$, also für den Spiegel nach der oben dargestellten allgemeinen Linsenformel $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, $a = 18$, $p = 7$, so st $\alpha = 11{,}45$.

Fig. 42.



Nun werden jedoch die von dem Spiegel reflectirten convergiren- Lichtstrahlen noch vor ihrer Vereinigung von der Linse o aufgen. Für diese Linse von 2″ Brennweite ist also, wenn ihr

Abstand vom Spiegel $o\,S = 6{,}5''$ angenommen wird, $a = -4{,}95''$, $p = 2''$, daher $\alpha = o\,m = 1{,}42''$. Wählt man nun den Abstand der Linse o von dem Auge A mit 2 Zoll, so ist $m\,A = 0{,}58''$, also steht m, d. h. das reelle Bild der Lampe, nahezu in der vordern Brennpunktsebene des Auges A, und die von da ausgehenden Lichtstrahlen müssen im Auge nahe parallel fortgehen, und eine leuchtende Scheibe von dem Durchmesser der Pupille rs auf dem Augengrunde geben. Wie das reelle Bild des Augengrundes mit diesem Spiegel zu Stande komme, wurde oben bei der Darstellung der Untersuchung im umgekehrten Bilde bereits erörtert.

9. Der Augenspiegel von Liebreich ist wesentlich mein Spiegel, auf ein Stativ gebracht und mit einer Vorrichtung, (einem Kinn- und Stirnhalter) versehen, um den Kopf des Patienten im Verhältnisse zum Instrumente zu fixiren. Zu klinischen Demonstrationen für Ungeübte ist diese Modification in der That zu empfehlen; jedoch wird es für den praktischen Arzt immer gerathen sein, vor Allem die freie Handhabung eines portativen Instrumentes einzuüben. Für den Praktiker mag auch die Bemerkung nicht überflüssig sein, dass Kinder und Frauen nicht selten vor den grossen Instrumenten, und namentlich der umständlichen Herrichtung fixer Ophthalmoskope zurückschrecken.

10. Spiegellinsen verwendete zuerst Klaunig und empfahl Biconvexlinsen, welche an der einen Seite mit Folie überzogen sind. Sie wirken als Hohlspiegel von ein Viertel Brennweite der Linse. So hat z. B. eine Biconvexlinse Nr. 20, sobald sie foliirt ist, eine Spiegelbrennweite von 5 Zoll. Entfernt man etwas von der Folie in der Mitte der Linse, so kann dieselbe zur Untersuchung im umgekehrten Bilde als Ocular verwendet werden. Behufs der Untersuchung im aufrechten Bilde hat Klaunig solche Linsen in der Mitte durchbohrt. Da aber die Durchbohrung in der grössten Dicke der Linse stattfinden muss, empfehlen sich solche Spiegel durchaus nicht vor den gewöhnlichen Hohlspiegeln aus Glas oder Metall. Burow verwendete gleichfalls eine foliirte Sammellinse als Ocular zur Untersuchung im umgekehrten Bilde, doch mit dem Unterschiede, dass er einen sammelnden Meniskus empfahl, welcher an der concaven Seite foliirt ist, und bei dem das Verhältniss der beiden Oberflächen so gestellt ist, dass die Linse für durchgehendes Licht 5 Zoll, und für Licht, welches von einer 10 Zoll entfernten Leuchtquelle reflectirt wird, circa 6 Zoll Brennweite hat.

11. Meine periskopischen Zerstreuungslinsen zur Untersuchung im

aufrechten Bilde. Unmittelbar nach Dr. Klaunig's Bekanntmachung seiner Spiegellinse, April 1854, habe ich, da mir diese Modification keine Vortheile vor dem gewöhnlichen Hohlspiegel darzubieten schien, periskopische Zerstreuungslinsen (gewöhnliche Brillengläser) an der convexen Fläche spiegelnd gemacht, und zur Untersuchung im aufrechten Bilde verwendet, wozu, wie die Theorie lehrt, solche Gläser sich vollkommen eignen, wenn ihre Oberflächen nach bestimmten Regeln geschliffen werden. Ich habe sodann auch im Jahre 1855 eine Suite solcher Gläser auf Grundlage der Berechnung bei Prokesch in Wien schleifen, bei Spitra in Prag foliiren und fassen lassen, und darf daher die Priorität des Gedankens und der Ausführung dieses einfachsten, bequemsten und gewiss empfehlenswerthesten Apparates zur Untersuchung im virtuellen Bilde (dessen Theorie ich gleichzeitig in der Schrift: Ueber die Benutzung foliirter Glaslinsen zur Untersuchung des Augengrundes. Prag 1855, entwikelte) wohl in Anspruch nehmen.

Es ist für convex-concave Zerstreuungsgläser mit belegter convexer Fläche, wenn dieselben als Beleuchtungsspiegel verwendet werden, und wenn wir das Brechungsverhältniss für Glas mit $\frac{3}{2}$ annehmen, die Spiegelbrennweite allgemein

$$p = \frac{R\,r}{3r - R}$$

wobei R den Radius der convexen, r jenen der concaven Fläche bedeutet.

In dieser Gleichung ergibt sich nun das für uns wichtige Resultat, dass, wenn $R = r$, so ist $p = \frac{R}{2}$ und positiv. Nimmt der Werth von r ab, während R constant bleibt, so wächst die positive Spiegelbrennweite, und zwar:

$$\text{ist } r = \frac{R}{2}, \text{ so wird } p = R$$

$$\text{ist } r = \frac{R}{3}, \text{ so ist } p = \infty$$

Sinkt r unter letzteren Werth, so wird p negativ, und zwar wenn $r = \frac{R}{4}$, so ist $p = -R$.

Foliirte periskopische Zerstreuungslinsen wirken demnach als Sammelspiegel, so lange der Werth des

Radius der concaven Fläche zwischen $\frac{1}{3}$ und dem vollen Werthe des Radius der convexen Fläche schwankt.

Die Zerstreuungsweite für solche Gläser, welche wir mit p' bezeichnen, ist

$$p' = \frac{-2Rr}{R-r}$$

sie schwankt demnach zwischen ∞ und $-R$.

Will man solche Gläser als Beleuchtungsspiegel und gleichzeitig als Correctionsgläser zur Untersuchung im virtuellen Bilde benützen, zu welchem Zwecke man in der Mitte des Glases eine Stelle des Belages entfernt; so wird sich aus den angegebenen Gleichungen leicht berechnen lassen, welches das günstigste Verhältniss der Radien der beiden Flächen sein müsse. Man benöthigt im Allgemeinen nicht wohl mehr als drei Spiegel, zu denen man folgendes Verhältniss der Oberflächen und Brennweiten wählen kann:

	R.	r.	p.	p'.
Nr. 1.	6	-3	$+6$	-12
Nr. 2.	4	-2	$+4$	-8
Nr. 3.	4	$-1\frac{1}{2}$	$+12$	$-4{,}8$

Die Ziffern bedeuten Zoll, R den Radius der belegten convexen, r jenen der concaven Fläche, p die Spiegelbrennweite, und p' die Zerstreuungsweite des Glases.

Zur Berechnung der Radien R und r für folirte Linsen jeder Art hat Burow folgende Formeln entwikelt, welche insofern von Werth sind, als in denselben auch der endliche Abstand der Leuchtquelle vom Spiegel in Rechnung gebracht ist.

Es ist nämlich

$$R = \frac{2}{\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} - \frac{2}{b}}$$

$$\text{und } r = \frac{2}{\frac{6}{b} - \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha}}$$

wobei a die Entfernung der Lampe vom Instrumente, α die Spiegelbrennweite, b die dioptrische Brennweite bedeutet.

Mehrfach sind sonst noch Apparate zur Untersuchung des Augengrundes angegeben worden. Von **Anagnostakis, v. Stellwag, Williams, Desmarres, Heyfelder, Jäger**, welche sämmtlich eine möglichst ver-

einfachte Hohlspiegelbeleuchtung des Augengrundes bezwecken und auch erreichen, ohne aber in der Construction wesentlich abzuweichen.

§. 40. Gang der ophthalmoskopischen Untersuchung. Zu jeder genaueren ophthalmoskopischen Untersuchung ist erforderlich:

1. Ein möglichst verdunkeltes Lokal.
2. In demselben eine Leuchtquelle. Man kann
   a) Tageslicht durch das Loch eines Fensterladens einfallen lassen. Doch fordert die Benutzung dieses Lichtes, das übrigens sehr schöne Farben des Augengrundes gibt, viel Übung, und ist daher Anfängern nicht zu empfehlen.
   b) Gewöhnlich benutzt man argandische Zuglampen ohne Glaskugel. und zwar solche, welche beliebig höher oder niedriger gestellt werden können.
   c) Wo Lampen nicht zu haben sind, wird man sich auch mit einer blossen Kerzenflamme begnügen müssen. Eine Stearinkerzenflamme reicht auch zu jeder Untersuchung vollkommen aus, wenn das Lokal nur genügend verdunkelt ist. Die Leuchtquelle steht auf einem Tische in gleicher Höhe mit dem Auge des Patienten, der an dem Tische sitzt; ihm gegenüber der Beobachter.
3. Ängstliche Patienten müssen über Wesen und Zweck der Untersuchung vorher aufgeklärt werden; überhaupt ist die Scheu des Laien vor der Verdunkelung des Lokals, Benützung künstlichen Lichtes am hellen Tage, und Anwendung der für ihn räthselhaften Reflectoren und Linsen sehr wohl erklärlich, wenn sie sich auch nicht immer laut äussert. Es soll schon desshalb gegen keinen Patienten aus der Ophthalmoskopie ein Mysterium gemacht werden. Der Kranke sitze ruhig, ungezwungen, halte den Kopf gerade, das Auge offen, und am besten um 20° nach einwärts gerichtet, während der Beobachter in gerader Richtung untersucht. Die Stellung des kranken Auges und die Richtung des beobachtenden müssen aber beim weiteren Gange der Untersuchung selbstverständlich je nach Bedarf vielfach geändert werden.

Ein Durchmesser der Pupille des Patienten von mindestens 3–4 Millim. ist zu jeder sorgfältigen Detailuntersuchung nothwendig. Häufig findet man diese Pupillenweite (namentlich bei Krankheiten des inneren Auges), und es ist desshalb die Anwendung der Mydriatica überflüssig. ... pille enger ist, werden im Allgemeinen Mydriatica anzu... n. Es kann aber hier nicht genug Vorsicht empfohlen

werden; denn das Mydriaticum hat im besten Falle eine durch längere Zeit bestehende Änderung in der Physiognomie des Auges zur Folge, welche oft den Patienten und seine Umgebung schreckt. Die Patienten klagen aber auch über Nebelsehen, Blendung, Accomodationsparalyse, welche krankhaften Erscheinungen hervorzurufen oft schädlich oder doch überflüssig ist. Denn man kann bei einiger Übung in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die Details des Augengrundes auch bei mässig enger Pupille prüfen, und mindestens die Diagnose en gros (z. B. Retinitis, amotio retinae, Glaucom, Staphyloma posticum etc.) herstellen. Erst nach gestellter Diagnose wende man daher, wenn es sonst zur Erhebung des vollen Befundes dringend wünschenswerth und durch den Krankheitszustand nicht widerrathen ist, das Mydriaticum an. Wir verordnen gewöhnlich: Sulfat. atropini granum, aqua destill. drachmam. Ein Tropfen dieser Lösung, mit der Spitze eines Pinsels in den Conjunctivasack gebracht, bringt überall da, wo die Iris überhaupt auf das Mittel zu reagiren vermag, binnen 5—10 Minuten entschiedene Mydriase zu Stande, welche durch zwei bis sechs Tage andauert.

4. Man beginnt die Untersuchung am besten mit einem perforirten Hohlspiegel von 7—8″ Brennweite in 7—8″ Entfernung vom Auge, mit dem man das Licht möglichst auf die am meisten reflectirende papilla nervi optici leitet. Leuchtet die Pupille, dann durchforscht man die diaphanen Medien in der Richtung von vorn nach rückwärts, indem man sich dem Auge allmälig immer mehr nähert. Häufig wird man je nach dem beiderseitigen Refractionszustande bei 4—3—2 Zoll Annäherung bereits auch Details des Augengrundes im aufrechten Bilde wahrnehmen. Es ist jedoch nicht räthlich, schon jetzt die Untersuchung im aufrechten Bilde fortzusetzen, sondern: sobald man sich über die Beschaffenheit der diaphanen Medien unterrichtet hat, und aus der Entfernung, bei welcher man einige Details des Augengrundes wahrzunehmen vermag, auch beiläufig den Refractionszustand des Auges kennt, schreite man zur Untersuchung im umgekehrten Bilde. Hiezu empfehle ich meinen Röhrenspiegel. Kurzsichtige benöthigen nicht leicht ein Ocularglas; für Normal- und Weitsichtige ist es jedoch räthlich, stets ein Ocular Nr. 6—10 in die Brillenfassung des Instrumentes einzulegen. Man wird bei dieser Art der Untersuchung wegen dem grossen Gesichtsfelde im Allgemeinen die Diagnose leicht herstellen können. Feinere Details werden sodann im aufrechten Bilde geprüft. Hiezu dürften sich die periskopischen Spiegellinsen am besten

eignen. Wo sie nicht vorräthig sind, lege man an die Rückseite des gewöhnlichen Concavspiegels ein passendes Concavglas (Nr. 12—4). Bei jeder Untersuchung ist vor Allem die papilla nervi optici aufzusuchen. Sie ist der Centralpunkt, von welchem aus man in der Regel längs den Gefässbahnen allmälig die Peripherie des Augengrundes zu erforschen hat. Die Papille hebt sich bei normalen Augen aus dem rothen Felde der Chorioidea als eine scharf contourirte weisse, weissgelbliche oder weissröthliche, nahe kreisrunde, zuweilen ovale Scheibe hervor Ihr scheinbarer Durchmesser beträgt im umgekehrten Bilde beiläufig 2—3 Linien; häufig ist sie durch einen schwarzen Pigmentring begränzt, oder doch nach einer Seite von einem Pigmentbogen· Jede normale Papille erscheint in der That leicht gewölbt, dabei im Centrum meist mit einer nabelförmigen Vertiefung versehen. Nahe ihrem Centrum, meist etwas nach innen, treten die Centralgefässe heraus, die Arterie durch rosenrothe Farbe und Glanz (doppelte Contour) (Fig. 43 *aaaa*), die Vene (*bbbb*) durch dunkelviolette Farbe und mehr gewundenen Verlauf charakterisirt. In der Regel kommt die Arterie mit einem gemeinschaftlichen Stamme aus der Tiefe, theilt sich in einen oberen und unteren Zweig, von denen jeder noch auf der Papille in zwei Zweige zerfällt. Die Vene dagegen tritt mit zwei Stämmen, einem oberen und unteren zu Tage, deren jeder gleichfalls auf der Papille in zwei Zweige zerfällt, so dass über die Papillengränze 4 Arterien- und 4 Venenstämme hinwegstreichen. Dabei treten stets noch einige kleinere Gefässstämmchen isolirt aus der Papille, und streichen nach aussen und innen über dieselbe hinaus. Die sämmtlichen Gefässe gehen, in immer schwächere Zweige zerfallend, jedoch scharf contourirt sichtbar, gegen die Peripherie, und verbreiten sich gleichförmig als weitmaschiges Netz in der Retina. Nur die Gegend der macula lutea ist gefässlos. Die Netzhaut erscheint gewöhnlich glashell, durchsichtig; in den Bahnen ihrer grösseren Gefässe, namentlich bei jüngeren Individuen ist oft eine silberartig glänzende Streifentrübung bemerkbar. Zuweilen kommt jedoch (ebenso bei schwächlichen, blutarmen Individuen als bei pigmentreichen Augen), ohne nachweisbare Sehstörung auch im ganzen Bereiche der Netzhaut, vorzüglich [illegible] ..le, eine sehr zart milchige Trübung des Gewebes vor. [illegible] ist ophthalmoskopisch nicht wahrzunehmen,

Fig. 43.

wohl aber erblickt man die Contour der Netzhautgrube gewöhnlich in der Form eines querovalen sehnigstreifigen Ringes oder Halbringes.

Die Farbe der Chorioidea ist im Allgemeinen licht zinnoberroth mit einem Stich ins Gelbliche, und wird wesentlich bedingt durch die an der inneren Fläche liegende Capillargefässschichte. Bei genauer Einstellung und stärkerer Vergrösserung erscheint die rothe Fläche mit bräunlich grauen Fleckchen bedeckt, und dadurch feinkörnig. Die der Stelle des directen Sehens anliegende Partie der Chorioidea ist meist in weiterem Umfange dunkelgrau oder bräunlich. Wo die Choriocapillaris und Pigmentschichte wenig entwikelt sind, namentlich im Äquatorialdurchmesser, kann man meist die vasa vorticosa in der Form rother bandartiger Streifen deutlich wahrnehmen. Sie erscheinen bei normaler Beschaffenheit des stroma in ein graubräunliches Lager gebettet.

§. 41. Staphyloma sclerae anticum (Staphyl. ciliare).

Wir bezeichnen mit diesem Namen die Ektasie der Sklera in der Gegend des corpus ciliare, d. i. in dem ringförmigen Raume, dessen vordere Gränze der Cornealrand, und dessen hintere die ora serrata retinæ bildet (s. Fig. 1). Dieser Ring hat beiläufig 3 Linien Breite. Das Staphyl. anticum zeigt insoferne einige Ähnlichkeit mit dem Staphyloma posticum, als es hier die Sehnervenpapille, dort die Cornea ist, in deren Circumferenz die Ausdehnung des Skleralgewebes sich entwikelt. Es zerfällt demgemäss das Ciliarstaphylom wie jenes im hinteren Pole in die doppelte Form des circumscripten und diffusen, von denen jedes wieder entweder bloss partiel (lateral) oder total (annular) sein kann.

a) Staphyloma circumscriptum laterale (Fig. 44). Hirse-, Hanf-, Erbsen- bis Bohnengrosse, schiefergraue bis dunkelblaue Hügel erscheinen in der Sklera einzeln, oder mehre, meist an der Stelle der Emissarien, häufiger in der oberen als unteren Bulbushälfte, drängen die Cornea seitlich, und geben zu mannigfachen Krümmungen der Augenaxe Veranlassung (Scoliosis bulbi). Da mit der Zunahme der Ektasie der Lidschluss erschwert, oder unmöglich wird, tritt die Geschwulst in die Lidspalte ein, und wird zuweilen durch den Lidschlag seitlich eingeschnürt, und wurstförmig verlängert. (Fig. 44 Durchschnitt eines Bulbus mit mehr als bohnengrossem Staphylom von einer

Fig. 44.

Frau, die in der Klinik behandelt wurde. Die Ectasie *a* stand in der Lidspalte; die Cornea *b* war nach abwärts tief hinter das untere Lid verdrängt. Die Axe des Auges hatte demnach die krummlinige Richtung *b c*.

b) Staphyloma diffusum laterale. Bei dieser Form, wo die Selera nur an einer Seite der Cornea in Gestalt eines Halbmondss (Fig. 45) ektasirt ist, und sich demnach die Ektasie gleichsam wie ein Keil *a b c* zwischen Cornea und Sklera drängt, aber keine beträchtliche Niveau-erhebung zeigt, wird zunächst die Cornea *a d o* seitlich verschoben, und stets die Axe des Bulbus *d e* verkrümmt.

Fig. 45.

c) Staphyloma annulare circumscriptum. Die Ektasie umgibt die Cornea in Form eines ziemlich gleichförmigen Wulstes. Diese Form entspricht am meisten dem Bilde des Cirsophthalmus und geht in den höheren Graden auch in Buphthalmus über. Der Scheitelpunkt der Cornea wird nach vorn verschoben, die Axe des Bulbus häufig verlängert, dabei aber auch die übrigen Durchmesser meist in demselben Masse vergrössert.

d) Staphyloma annulare diffusum. Ringförmige diffuse Ausdehnung der Sklera mit gleichförmiger Vortreibung der Cornea und meist beträchtlicher Axenverlängernng des Bulbus.

Man kann das vordere Skleralstaphylom auch nach seinem Sitze in folgende drei Formen abtheilen: 1. Jenes zunächst dem Cornealrande (im Bereiche des Schlemm'schen Kanals); 2. das Staphyloma corporis ciliaris im engeren Sinne; 3. das Staphyloma chorioideae anticum, zwischen corpus ciliare und der ora serrata. So sehr auch diese Unterscheidung in vielen Fällen anatomisch gerechtfertigt ist, so gibt es dagegen ebenso viele Übergänge einer dieser Formen in die anderen, und namentlich der zweiten in die dritte Form, dass die oben gewählte Eintheilung mindestens grösseren praktischen Werth haben dürfte.

§. 42. Die anatomische Untersuchung der Skleralstaphylome (als ständiger Formen) zeigt die überliegende, ausgedehnte Conjunctiva meist nur von einzelnen dilatirten Venen durchzogen. Wo jedoch das Staphylom so beträchtlich ist, dass es den Lidschluss unmöglich macht, kann die Conjunctiva durch den Einfluss der Atmosfäre beträchtlich

hyperämirt, serös geschwellt erscheinen, und eine fungöse Wucherung darstellen, welche es manchmal schwierig macht, die Veränderung des Skleralgewebes zu erkennen. Ja die blossgelegte Conjunctiva kann beträchtlich hypertrophiren, und das Epithel ihrer Oberfläche verhornen. Immer bleibt aber die Conjunctiva über der Skleralektasie verschiebbar, nur durch lockeres Bindegewebe mit ihr verbunden, und verwächst nicht wohl mit ihr. — Die Sklera selbst ist in verschieden hohem Grade verdünnt, dabei ihr Gewebe beträchtlich gespannt, und mit dem Grade der Verdünnung wächst ihre Diaphanität, wodurch der Einblick in das dunkle Innere des Auges gestattet wird. Daher die schiefer-, blei-, stahlgraue bis schwärzliche Farbe der Sklera. Unter dem Einflusse der dehnenden Gewalt erscheinen nicht selten einzelne Schichtlagen der Sklera, namentlich zunächst der inneren Fläche. vorzüglich im Bereiche des Schlemm'schen Kanals geborsten (Stellwag). An der vorderen Fläche ist nicht selten, namentlich in den Gefässbahnen körniges Pigment eingestreut. — Die Veränderungen des Ciliarkörpers im Innern der Geschwulst sind sehr mannigfaltig. Es erscheint meist im Bereiche des Staphyloms das Corpus ciliare atrofirt, eine zarte von körnigem Pigment schütter durchsetzte, hyaline oder feinstreifige Membran darstellend, welche der verdünnten Sklera enge anhängt. In den höchsten Graden fehlt dieses Häutchen entweder gänzlich oder doch theilweise, und der hochgradig atrofirte Ciliarkörper ist demnach entweder durch Zerrung zerrissen, oder durch Druck geschwunden. An den Grenzen der Ektasie erscheint das Corpus ciliare oft normal, so dass es auf den ersten Blick scheint als ob nur eine Continuitätstrennung mit Verzerrung der Wundränder stattgefunden hätte. Namentlich ist es auffallend, manchmal noch die Verbindung der Iris und die Köpfe der Ciliarfortsätze an der vorderen Grenze des Staphyloms unversehrt zu finden, und auch über die hintere Grenze der Ektasie hinaus noch den Ciliarmuskel verfolgen zu können. Meist aber atrofirt doch mindestens das vordere Ende des corpus ciliare auch über die Grenzen des Staphyloms hinaus. Die Zonula Zinnii wird meist verzerrt oder durchrissen. Der Petit'sche Canal scheint nämlich der ursprüngliche Sitz eines oft daselbst abgesackten serösen Ergusses zu sein, welcher die wesentliche Bedingung der circumscripten Ektasien abgibt. Mit der vermehrten Ansammlung des Exsudates aber und der Vergrösserung der Ektasie berstet die Zonula, und es stellt dann das Staphylom eine mit Serum erfüllte Cavität dar, deren hintere Wand zunächst von dem hinteren Aufhänge-

bande der Linse gebildet wird. Auch dieses zerreisst aber endlich und es stellt sich damit die Communication der Cavität mit dem Fächerraume des Glaskörpers her.

In nicht seltenen Fällen zeigt die Iris keine wesentliche Veränderung, selbst an der dem Staphylom entsprechenden Seite. Sie hat ihre Beweglichkeit nicht eingebüsst, und diess zuweilen bei umfangreicheren Staphylomen. Doch aber beobachtet man auch partielle, selbst totale Iridoplegie mit Gestaltveränderung der Pupille, ferner Pupillensperre, und selbst hochgradige Irisatrophie, vordere, partielle und totale Synechie.

Die Linse kann entweder normal bleiben, oder durch die beschriebenen Veränderungen des Aufhängebandes aus ihrer Lage verschoben, dislocirt werden. Kapselauflagerungen, Cataract sind eine häufige Complication; Glaskörperdissolution und Symptome von Chorioiditis totalis kommen gleichfalls zuweilen vor. — Eben so kann die Retina entweder normal bleiben, oder amotio retinae, Retinalatrofie sich combiniren. — Die Cornea erscheint entweder normal oder narbig getrübt, phthisich, staphylomatös, oder ihre Krümmung beträchtlich geändert. Der Bulbus kann die Erscheinung atrofischer Consumption zeigen, oder bis zum Buphthalmus vergrössert sein.

Die beschriebenen, je nach dem Grade der Entwikelung der Krankheit sehr verschiedenen Complicationen von Krankheiten der Bulbusorgane machen es erklärlich, dass die Functionsanomalien gleichfalls höchst verschieden sein müssen. Wo der Krankheitsprocess local beschränkt geblieben ist, wird entweder gar keine oder doch leicht keine andere wesentliche Functionsanomalie beobachtet, als Störungen der willkürlichen Accommodation. Die Kranken sind im Allgemeinen weitsichtig, und werden, wenn sie die Accomodation für die Nähe in Anspruch nehmen, asthenopisch. Ich beobachtete bei Myopikern unter der Entwikelung von Kyklitis mit consecutivem vorderem Skleralstaphylom eine Abnahme der Myopie. (Bei einem Patienten änderte sich der Fernpunkt binnen wenigen Wochen von 9 auf 12 Zoll.) Bei höheren Graden, namentlich lateraler Staphylome entstehen schon wegen Verkrümmung der Sehaxe. Verschiebungen der Cornea und Linse, wesentliche Refractionsanomalien: bei annularen mit Axenverlängerung des Auges hohe Grade von Myopie. Complicationen mit Cornealtrübungen, iritischen Auflagerungen, Synechien, Cataract stören dagegen oft die Leitung des Lichtes auf die Retina beträchtlich, und Übergänge in Chorioiditis oder Netzhauterkrankungen

erzeugen Amblyopien bis zu vollständiger Amaurose. Dabei wird der vergrösserte Bulbus vorgetrieben (Exophthalmus), der Lidschluss erschwert oder unmöglich, und der Anblick eines solchen Auges ist daher selbst bei immuner Cornea und Iris, sowohl durch den Exophthalmus als durch die cadaveröse Verfärbung der Sklera, sowie die venöse Stase der Episkleralgefässe in höheren Graden fremdartig, abschrekend. Bei höheren Graden klagen die Kranken mindestens über zeitweiligen Kopfschmerz, Ciliarneuralgie, Druck in der Orbita, und werden auch durch die Spannung der Lider belästigt.

Die Erscheinungen des Staphyloma anticum sind so charakteristisch, dass nicht leicht eine Verwechslung mit anderen Krankheiten möglich ist. Die grösste Ähnlichkeit bietet dasselbe zuweilen mit der Melanose des Bulbus dar, welche in dieser Gegend zum Durchbruche kommt. Die Explorativpunction wird in zweifelhaften Fällen Aufschluss geben müssen, indem der Inhalt des Staphyloms wässerige Flüssigkeit ist, nach deren Entleerung die Geschwulst zusammensinkt, während bei Melanose entweder bloss einige Tropfen Blut oder etwas schwärzlich gefärbter Krebssaft durch die Punktion entleert wird, und die Geschwulst ihre Form behält.

§. 43. Ätiologie. Das Staphyloma sclerae anticum ist eine häufige Krankheit. Die Ursache dürfte weniger in angeborener geringerer Widerstandskraft der vorderen Skleralzone, welche ja hier beträchtliche Dicke hat, liegen, als in erworbener Resistenzverminderung, welche sowohl eine Folge von seröser Durchfeuchtung und Erweichung des Skleralgefüges bei entzündlichen Erkrankungen in dieser Gegend (Staphyloma chorioideae anticum spontaneum, Sichel) als von Continuitätstrennung durch Verletzung oder Verschwärung der Sklera (Staphyloma chorioideae anticum traumaticum, Sichel) sein kann. Betreffend die erste Form, so wird wohl nicht leicht in einem Falle der Beweis geliefert werden können, dass die Resistenzverminderung der Lederhaut das Resultat eines substantiven Leidens derselben sei, vielmehr tritt das Staphylom immer nur als secundäres Symptom bei Entzündungen des Subconjunctivalgewebes oder bei solchen des Strahlenkranzes auf. Namentlich in letzterem Organe, welches eine hervorragende circulatorische, motorische und sensorielle Bedeutung hat, müssen congestive Leiden leicht auftreten, und sind die Bedingungen zu hochgradiger Entwikelung und bedeutender Hartnäckigkeit nutritiver Störungen gegeben. In der That entwikelt sich die Skleralektasie meist unter deutlichen Symptomen der Kyklitis, ohne dass es möglich

wäre, in der Sklera selbst mit Ausnahme grösseren Wassergehaltes, weitere Differenzirungen des nutritiven Plasma — Scleritis — nachzuweisen. Die Erweichung der Sklera entsteht in solchen Fällen durch die mechanische Congestion (Stase) und beginnt meist an jenen Stellen, wo die Ciliargefässe hindurchtreten. Die Emissarien sind der häufigste Sitz jener umschriebenen diverticulösen Ausstülpungen der Sklera in der Form dünnwandiger, mit wässerigem Inhalt erfüllter Blasen. Sobald die Sklera einmal durch grösseren Wassergehalt erweicht ist, vermag sie dem hydrostatischen Drucke nicht mehr zu widerstehen; sie wird ausgedehnt, und hiebei kommt es dann selbst zur Berstung einzelner Schichtlagen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass der Conjunctivalherpes bei längerem Bestande gleichfalls zur Erweichung des Skleralgefüges und somit zur Ektasie führen könne; jedoch ist diese Ursache nur selten gegeben. Verletzungen der Sklera, ebenso wie Ulcerationen verursachen entweder nur den Verlust einiger oberflächlicher Schichtlagen, Resistenzverminderung und Ektasie (hernia chorioideae), welche durch Narbenüberhäutung ständig werden kann, oder es kommt zur Perforation mit Blosslegung und Vorfall der Chorioidea (prolapsus chorioideae), welcher gleichfalls sich mit Narbengewebe überzieht und so ständig wird.

§. 44. Verlauf. Das vordere Skleralstaphylom besteht meist auch nach dem Rückgange der Grundkrankheit die ganze Lebenszeit fort. Es können jedoch niedere Formen mit dem Grundleiden rückgängig gemacht werden. Nur selten gehen kleinere circumscripte, häufiger diffuse Ektasien geringen Umfanges spontan allmälig wieder zurück. Bei stärkerer Ansprucinahme der Muskelthätigkeit (Heben schwerer Lasten etc.) betrachtet man oft eine rasche Zunahme des Staphyloms mit Erneuerung stürmisch verlaufender Formen von Chorioiditis, oder es nimmt die Ektasie ganz allmälig unter geringen Reizphänomenen zu, und übergeht endlich in Buphthalmus. Spontanes Bersten der Geschwulst wird nicht wohl beobachtet; doch tritt Rhexis leicht in Folge von Einwirkung mechanischer Gewalt auf.

§. 45. Behandlung. Bei dem Bestande von Entzündung muss diese zunächst bekämpft werden. Sublimat nach Dzondi's Methode und Jodkalium sind bei niederen Graden vorderer Skleralstaphylome, namentlich als Folge syphilitischer Iridokyklitis zuweilen wirksam. Die rückleibende Chorioidalcongestion erheischt namentlich eine Regelung der diätetischen Verhältnisse; Enthaltung von jeder Anspruchnahme des Auges, Schutz desselben gegen grelles Licht und äussere

Schädlichkeiten, Landaufenthalt, Gebrauch leichter Solventien, Marienbader Kreuzbrunn. Vorzüglich müssen solche Individuen jede stärkere Muskelthätigkeit vermeiden.

Örtlich empfiehlt sich nach dem Rückgange der Entzündung bei niederen Graden des Staphyloms das Betupfen mit Laudanum liquidum Sydenhami. Ich kann dasselbe nach mehreren Erfahrungen empfehlen. (Sichel hat „kein grosses Vertrauen zu diesem Mittel.") Die Compression mittelst des Druckverbandes (Charpiebäuschchen mit einem Monoculus befestigt) habe ich bisher unwirksam gefunden. — Das Betupfen mit Lapis infernalis oder Butyrum antimonii (Richter) halte ich für gefährlich, indem es leicht Panophthalmitis hervorruft Ebenso die Einführung und das Liegenlassen eines Seidenfadens. Die einfache Incision und Entleerung des wässerigen Inhaltes wirkt bei höheren Graden bloss als Palliativ, vermag aber mindestens für einige Zeit die oft heftige Ciliarneuralgie zu bekämpfen, und kann bei niederen Graden des Staphyloms in Verbindung mit der örtlichen Anwendung des Laudanum liquid. Sydenh. in der That radicale Hilfe bringen.

Bei höheren Graden wird in der Regel sowohl wegen der Entstellung als den belästigenden Symptomen, welche das Staphyloma anticum begleiten, die Radicaloperation durch gänzliche oder theilweise Excision der ektatischen Sklera vorzunehmen sein. Das Verfahren selbst unterscheidet sich nicht wesentlich von jenem bei Hornhautstaphylom. Man hat nur vorzüglich darauf Bedacht zu nehmen, dass die Entleerung der Linse und eines grösseren Theiles des Glaskörpers vermieden werde, damit die natürliche Form des Augapfels erhalten bleibe. Es gelingt diess Letztere auch oft in jenen Fällen, wo die staphylomatöse Metamorfose keinen beträchtlichen Umfang hat. Es bildet sich dann mit der Zusammenziehung der Wundränder eine feste, in der Regel eingezogene Narbe, und in der Circumferenz derselben zuweilen strahlige Faltung der Sklera. Die Cornea, Iris, Linse rücken dabei wieder in ihre Lage, und die Gestalt des Bulbus wird manchmal vollkommen restituirt. Bei den höchsten Graden ist jedoch die Entleerung des grössten Theiles des Bulbusinhaltes durch die grosse Wunde kaum zu vermeiden, und erreicht die Operation kaum etwas Anderes, als die Umwandlung des Megalophthalmus in eine Phthisis bulbi. Die Excision ist überhaupt niemals ganz gefahrlos, und kann selbst bei sorgfältig ausgeführter Operation und Nachbehandlung eitrige Chorioiditis folgen. Man muss daher solche Kranke stets auf alle Eventualitäten aufmerksam machen.

§. 46. Staphyloma sclerae laterale (aequatoriale). Bei dieser Form tritt die Ektasie gleichfalls circumscript oder diffus auf. Beim circumscripten Staphylom beobachtet man einzelne oder aggregirte, Hirse- bis Erbsengrosse blaue Hügel in der Gegend des Bulbusäquators, häufiger in der oberen Hälfte, meist in den Zwischenräumen der geraden Augenmuskeln. Sie werden oft erst sichtbar, wenn man die Lider weit abzieht, und das Auge nach der entgegengesetzten Seite gerichtet ist. Die Form des Auges wird hiebei nicht wesentlich geändert. Die diffuse Ektasie ist in dieser Gegend selten, kann jedoch manchmal im ganzen Umfange des Bulbusäquators entwikelt vorkommen, auf diese Gegend beschränkt bleiben, oder sich sowohl mit Staphyloma anticum als posticum combiniren. Es erscheint deshalb auch in diesen Fällen bald der Axen- bald der Horizontaldurchmesser vergrössert. Die lateralen Staphylome sind stets die Folge von Chorioiditis, die circumscripten zuweilen zunächst das Resultat eines Trauma der Sklera, und von Amaurose begleitet. Bezüglich der Therapie derselben gilt das bei den vorderen Staphylomen Erwähnte.

Grössenabnahme der Sklera (Mikrophthalmus).

§. 47. Wir unterscheiden die angeborene und erworbene Verkleinerung des Augapfels.

Die angeborene Kleinheit des Auges (Mikrophthalmus sensu strictiori, Atrophia bulbi congenita, mikrommatos, Mikropsia) kommt nicht selten vor. Man kann hier zunächst zwei Formen unterscheiden:

1. Die Mikrophthalmie mit sonst normaler Bildung und Function sämmtlicher Bulbusgebilde, das kleine Auge, dessen Durchmesser nur um ein Geringes von der Norm abweichen. Es liegt tiefer in der Orbita und hat eine enge Lidspalte. Dieser Schönheitsfehler bringt sonst nicht wohl Nachtheile, höchstens kann bei tiefer Lage eines solchen Auges das Gesichtsfeld einige Beschränkung erfahren.

2. Die Mikrophthalmie mit mangelhafter Bildung ist von den mannigfachsten angeborenen Krankheiten des Auges begleitet, und geht demgemäss auch meist mit verschiedenen Graden von Sehstörung einher. Die Durchmesser des Auges können entweder von der Norm nicht weit entfernt sein, oder beträchtlich abgenommen haben, so dass das Auge manchmal kaum die Grösse einer Erbse erreicht. Man findet Microcornea, Atrophie derselben, Kolobom der Iris, Iridermie, Korektopie, Discolorationen der Iris, Pupillensperre, Katarakt (vorzüglich Centralstaare), [illegible] der Retina, Pigmentmetamorfose derselben, Kolobom de[illegible]r der Retina bis zu vollkommener Amau-

rose. Die Bewegungen solcher Augen sind manchmal nicht wesentlich geändert; häufiger kommt Nystagmus vor. Man hat diese Krankheit zuweilen erblich, bei mehreren Geschwistern beobachtet, häufiger bei Frauen als Männern (8 : 6 nach Radius). In einigen Fällen scheint fötale Iridochorioiditis die Ursache der Entwikelungsstörung des Bulbus gewesen zu sein. Zuweilen beobachtet man einige Zeit nach der Geburt ein ziemlich rasches Wachsthum mikrophthalmischer Augen, und eine Abnahme der Sehstörung. Meist bleiben aber alle Symptome durch die ganze Lebenszeit stationär, oder es können mit den Jahren niedere Grade des Retinaltorpors in komplete Amaurose übergeben.

§. 48. Die erworbene Mikrophthalmie tritt unter 3 Formen auf:

1. als Marasmus des Auges,
2. als Phthisis bulbi,
3. als Atrophia bulbi inflammatoria.

Marasmus bulbi (das Greisenauge). Die marastische Involution des Auges betrifft selten alle Theile desselben gleichförmig. Es schwindet zumeist das Fett der Orbita, der Bulbus tritt tiefer zurück, die Haut der Lider faltet sich mehrfach; zugleich nimmt der Flüssigkeitsgehalt des Bulbus ab — alle seine Organe werden wasserärmer. Die Durchmesser des Auges müssen demgemäss, ebenso wie sein Gewicht abnehmen. Der hydrostatische Druck wirkt hiebei meist mit normaler Kraft, und die Spannung der Sklera vermindert sich im Allgemeinen nicht. Wohl aber äussert sich die Atrophie der Sklera durch Verdünnung, Trockenheit, Verminderung ihrer Elasticität, schmutzig gelbliche Farbe. — Die Cornea erfährt zuweilen jene ringförmige Trübung ihrer Periferie, welche unter dem Namen des Greisenbogens, arcus senilis bekannt ist. Dabei vermindert sich ihre Wölbung, sie wird oft in hohem Grade verdünnt, unelastisch (faltet sich bei der Staarextraction). Die Augenkammer wird enge. Die Linse trübt sich in ihren Kern- und Cortexlagen, wird trockener, kleiner. Verdickung und Trübung der Vorderkapsel entwikelt sich. Die Chorioidea zeigt drusige Entartung der Choriocapillaris, Rarefaction des Pigmentes, atheromatösen Process der Gefässe. Unter den Functionsanomalien ist die constanteste Presbyopie. Nebstdem wird durch die Trübung der Linse die Leitung der Lichtstrahlen zur Retina gestört, und in den höchsten Graden des Marasmus entwikelt sich Torpor der Retina.

Es ist hier zunächst der Ort, die Presbyopie genauer zu würdigen.

§. 49. Von der Presbyopie (πρεςβυς, der Greis, das Greisensehen, die Fernsichtigkeit, Weitsichtigkeit). Wir haben oben (pag. 28) die

Presbyopie im Allgemeinen als das Resultat der Vermehrung der Normalwerthe für die Bildweite des Auges bezeichnet. Die Ursache kann entweder in einer Verminderung der brechenden Kraft des Auges (seines Totalindex) oder in einer Verkürzung der optischen Axe bei ungeändertem Werthe des Index bestehen. Die Presbyopie kann, gleich der Myopie, ohne Beschränkung der motorischen Einstellungsfunction bestehen, es muss aber die musculare Thätigkeit sich ihrer abnormen Aufgabe gegenüber in der Regel als ungenügend erweisen, und endlich durch Übermass der Intention erlahmen. Erkrankungen des Accommodationsmuskels werden im Allgemeinen viel häufiger bei Presbyopie als bei Myopie vorkommen, indem das Bedürfniss der genaueren Betrachtung naher Objecte viel grösser ist als das ferner, und daher der Accommodationsmuskel bei Presbyopikern für jene Fälle ununterbrochen in Anspruch genommen werden muss. Die Verminderung des Totalindex des Auges kommt nicht selten vor, und resultirt entweder aus einer Vergrösserung der Krümmungsradien der Cornea und Linse, oder aus einer thatsächlichen Abnahme des Brechungsquotienten eines oder mehrerer diaphaner Medien.

Die gewöhnlichsten Fälle der Presbyopie sind aber zunächst das Resultat einer Abnahme des Wassergehaltes des Auges und daher einer Verkürzung der Sehaxe bei Marasmus des Auges, welche wesentlich auf einer Verminderung von vitrina und daher Abschwellung des Glaskörpers (mit wohl auch auf Verflachung der Cornea, Verminderung des humor aqueus, Abflachung der Linse) beruht.

Da sich der Werth der Bildweite (s. pag. 27) für unser Auge von ∞ bis auf nahe 2000''' Objektferne nur wenig ändert, so ist bei Presbyopikern, so lange die Augenaxe nicht wesentlich von der Norm abweicht, auch eine Einstellung auf Objekte dieser Entfernung ganz wohl gestattet, d. h. der Fernpunkt bleibt in unendlicher Ferne; aber es muss der Nahepunkt des deutlichen Sehens schon bei niederen Graden von Axenverkürzung im Allgemeinen viel rascher sich vom Auge entfernen, als er umgekehrt selbst bei höheren Graden der Myopie dem Auge näher rückt. Es können solche Individuen in höheren Graden der Krankheit selbst hyperpresbyopisch werden (d. h. nur für convergentes Licht, eine negative Objectferne genau einstellbar sein) was in der That nach der Theorie schon dann eintreten muss, sobald die Augenaxe sich um die Dicke der empfindenden Nervenschichte vermindert. Doch aber ist hier zu berücksichtigen,

dass der Durchmesser der Zerstreuungskreise auf der Retina für diese Objektfernen (wie pag. 27 gezeigt) keine erhebliche Änderung erfährt, und daher solche Augen im Allgemeinen zwar eine beträchtliche Zunahme des Werthes des Nahepunktes zeigen, aber für die Ferne doch mit ziemlicher Schärfe einstellbar bleiben.

Wenn selbst bei beträchtlicher marastischer Verkleinerung der Sehaxe viele Individuen trotzdem das Vermögen der genaueren Betrachtung naher Objekte nicht gänzlich einbüssen, so kommt diess ebensowohl auf Rechnung der Fähigkeit, in Zerstreuungskreisen, namentlich bei genügender Lichtstärke und Farbenkontrast der Objekte zu sehen, als möglicherweise auf solche einer Zunahme des Brechungsindex der Linse, deren Gefüge durch den Marasmus beträchtlich dicker wird.

Die Grenze der Weitsichtigkeit ist bisher nicht ziffermässig bestimmt. Sie beginnt mit der Zunahme des Werthes des Nahepunktes. Der Normalwerth für diesen ist nicht genau bekannt. Er dürfte zwischen 4—5 Zoll liegen. Gewöhnlich spricht man jedoch erst dann von Weitsichtigkeit, wenn der Nahepunkt bis auf 10 Zoll und darüber vom Auge absteht, so dass die Induviduen nicht mehr in der mittleren Leseweite kleinere Objekte deutlich zu sehen vermögen. Indem sie nun die Objekte vom Auge entfernen müssen, um sie in die deutliche Sehweite zu bringen, vermindert sich der Gesichtswinkel und die Beleuchtung dieser Objekte, wesshalb die Kranken überhaupt unfähig werden, kleinere Objekte, die ein normales Auge noch zu erkennen vermag, bei gewöhnlicher Beleuchtung deutlich zu sehen, und ihnen diess im Allgemeinen nur bei relativ hellerer Beleuchtung möglich ist. Weitsichtige suchen daher das helle Tageslicht, um zu lesen, und halten am Abende das Buch in unmittelbarer Nähe der Lichtquelle.

Indem der Weitsichtige ferner das Fixirobjekt in den Nahepunkt oder doch nahe demselben zu bringen genöthigt ist, um deutlich zu sehen, nimmt er die willkürliche Accommodation stets in hohem Grade in Anspruch. Er vermag deshalb auch niemals bei der Betrachtung naher Objecte auszudauern, das Gefühl der Ermüdung, die hebetudo visus stellt sich bei längerer Fixation ein, begleitet von Ciliarneuralgie, Nebelsehen und Schwindel. Diese Erscheinungen treten Anfangs mehr nur bei längerer Arbeit, am Abende, bei künstlicher Beleuchtung ein, können aber rasch so zunehmen, dass der Kranke auch am hellen Tage keinerlei Arbeit mehr zu verrichten vermag. Es

ist diese Steigerung der Symptome dann entweder lediglich eine vorübergehende Folge von übermässiger Anspruchnahme der Accommodation, und die Refractionsverhältnisse müssen hiebei keine wesentliche Änderung erfahren haben. Oder die hebetudo visus steigert sich als Folge der wahren Zunahme der Presbyopie, des Refractionsfehlers, wo dann der Patient dauernd unfähig wird, für die Nähe zu accommodiren. Es kann die Presbyopie überhaupt lediglich als Symptom der Accomodationsparalyse bei sonst normalem Baue und Function der refractorischen Medien auftreten, eine Form, die man als Presbyopia spuria oder paralytica bezeichnen könnte, zum Unterschiede von der wahren, durch Änderung der Refraction bedingten. Wir werden diese Form bei den Krankheiten der willkürlichen Accommodation besprechen.

Ist die Presbyopie einmal so hochgradig geworden, dass der Nahepunkt sich bis über 20 Zoll vom Auge entfernt, dann vermögen die Individuen keine kleinen Objecte mehr deutlich wahrzunehmen. Sie helfen sich allerdings meist dadurch, dass sie die Objekte näher an das Auge bringen, und durch Verengerung der Lidspalte die Diaphragmaöffnung des Auges möglichst verengern, wodurch der Durchmesser der Zerstreuungskreise auf der Netzhaut geringer wird. Man kann solche Individuen mit Myopikern (wegen der beträchtlichen Annäherung der Objekte an das Auge) und mit Amblyopikern (wegen der Unfähigkeit kleine Objecte deutlich zu sehen), verwechseln. Es nützen ihnen aber Zerstreuungsgläser nichts, und sie vermögen z. B. Jägers Schriftproben 1—5 in der Nähe nicht zu lesen, was sie von Myopikern unterscheidet. Sie sehen ferner durch die enge Öffnung eines Kartenblattes besser als gewöhnlich, während Amblyopiker hiedurch schlechter sehen. Es ist aber nicht zu vergessen, dass sich Presbyopie und Amblyopie combiniren können, und namentlich im hohen Alter Letzere zu Ersterer nicht selten hinzutritt, ebenso wie eine presbytische Amblyopie auch zuweilen angeboren vorkommt.

Die äusseren Erscheinungen der Presbyopie sind nicht immer verlässlich. Die Augenkammer erscheint enge, die Iris, deren Pupille gleichfalls verengert ist, liegt der Cornea näher; die flache Cornea zeigt zuweilen den Greisenbogen. Die Augen liegen tiefer in der Orbita, erscheinen kleiner, rundlich. Bei der ophthalmoskopischen Untersuchung kann man schon bei gewöhnlicher Hohlspiegelbeleuchtung ohne Anwendung von Concavlinsen, und bei mässiger Annähe-

rung an das Auge (2—4 Zoll) die Details des Augengrundes sehen. Die Durchmesser der Papille erscheinen meist vergrössert.

Die Presbyopie ist ein gewöhnliches Atribut des höheren Alters. Sie beginnt im niederen Grade bei solchen Individuen, welche früher ein normales Sehvermögen hatten, meist schon zwischen dem 40. bis 50. Lebensjahre, oft noch lange bevor andere Zeichen der Senescenz bemerkbar werden. Besonders stellt sie sich frühe ein bei Jenen, welche ihr Auge niemals viel für die Nähe in Anspruch nahmen: Ökonomem, Forstleuten. (In diesen Fällen beruhen die Anfänge der Presbyopie offenbar zunächst auf einer frühzeitigen Involution des Accommodationsmuskels in Folge mangelhafter Übung.). Weinen, Kummer, Nachtwachen und erschöpfende Krankheiten: Typhus, Tuberculose u. a. beschleunigen die Entwikelung dieser Sehstörung gleichfalls.

In den gewöhnlichen Fällen schreitet die Presbyopie nur ganz allmälig weiter vor, übergeht aber bei älteren Leuten meist endlich in Übersichtigkeit (Hyperpresbyopie), combinirt sich mit completer Accommodationsparalyse, und bei höheren Graden von Marasmus, im hohen Alter oft mit Torpor retinae. Die Hyperpresbyopie als höheres Entwikelungsstadium der Presbyopie dürfte keine gesonderte Betrachtung verdienen; denn es fallen die Symptome derselben mit jenen der Presbyopie zusammen. Es ist hier nur zu erwähnen, dass die Hyperpresbyopie nicht allein als Folge der Senescenz des Auges auftrete, sondern namentlich auch bei Defect der Krystalllinse ein gewöhnliches Symptom sei. Sie kommt übrigens auch in seltenen Fällen als angeborenes Übel namentlich mit Mikrophthalmus vor, und kann endlich als Folge von beträchtlicheren Verflachungen der Cornea, nach Keratitis perforatoria, bei vorderen Synechien u. s. w. auftreten.

Behandlung der Presbyopie. Eine Heilung ist nur in solchen Fällen zu erwarten, wo die Presbyopie als Symptom der hebetudo visus auftritt. Die wahre Presbyopie lässt sich nur durch den Gebrauch von Convexlinsen corrigiren. Bei den niederen Graden benöthigt der Kranke solche Gläser von den schwächeren Nummern nur zur Arbeit, für die Nähe. Bei höheren Graden sind stärkere Convexgläser für die Nähe, und bei Hyperpresbyopie selbst schwächere für die Ferne zum Deutlichsehen nöthig. Man wählt die Gläser auf Grundlage eines genauen optometrischen Versuches, der zunächst die Eruirung des Nahepunktes zum Zwecke hat. Die Eruirung dieses Punktes ist bei höheren Graden der Presbyopie oft schwierig, und fordert eine sorgfältige Berücksichtigung der Beleuchtung, und eine

zweckmässige Wahl des Probeobjectes. (Druckschrift eignet sich hiezu noch weniger als bei Myopikern. Das beste Probeobject sind Blenden mit einigen, 5—8 Stichöffnungen von $^1/_2$—1 Millim. Durchmesser.) Auch muss man wohl darauf sehen, dass das Experiment nicht an einem Tage vorgenommen werde, wo der Kranke sein Auge schon bei der Arbeit angestrengt hat. Wie aus dem gefundenen Zifferwerthe des Nahepunktes das Brillenglass zu berechnen sei, wurde oben pag. 54 gezeigt. Bei hochgradiger Presbyopie, wo der Nahepunkt mehr als 50 Zoll vom Auge entfernt ist, und nicht mehr genau bestimmt werden kann, oder gar bei Hyperpresbyopen, welche keinen positiven Nahepunkt haben, lässt sich das erforderliche Brillenglas nicht durch Rechnung, nur durch das Experiment finden. Für die gewöhnlichen Fälle von Presbyopie (welche zwischen dem 40.—55. Lebensjahre auftritt) ergeben sich meist Convexgläser zwischen Nummer 50—20 als die zweckmässigsten zur Arbeit. Hyperpresbyopiker brauchen meist Nr. 10—6 für die Nähe, 12—20 für die Ferne; im höchsten Grade z. B. nach Staaroperationen selbst Nr. 4—2 für die Nähe, 10—4 für die Ferne. Letztere Individuen vermögen auch mit der besten Brille meist nur g r o s s e n Druck zu lesen, für feinere Arbeit bleiben sie untauglich. Der Gebrauch von passenden Convexgläsern ist jedem Presbyopiker zu rathen, dessen Nahepunktswerth grösser ist als jener der mittleren Leseweite, und der sein Auge für die Nähe zu verwenden genöthigt ist. Die Brille allein macht es solchen Individuen möglich, ohne Überspannung der willkürlichen Accommodation bei der Arbeit auszudauern. Die Brille reicht auch meist hin, um, wenn bereits hebetudo visus eingetreten ist, diese binnen Kurzem zu beheben. In letzteren Fällen ist zu rathen, dem Convexglas eine schwachblaue Färbung zu geben. Wo die Presbyopie mit reinem Torpor retinae combinirt ist, werden Convexgläser in niederen Graden des Letzeren zwar gleichfalls eine Besserung der Sehvermögens erzielen können; Viel leisten sie jedoch nicht. Die Patienten werden selten arbeitstüchtig.

§. 50. **P h t h i s i s**, consumptio, exsiccatio **b u l b i**. Mit diesem Namen bezeichnen wir eine s t ä n d i g e Verkleinerungsform des Auges, welche das Resultat des gänzlichen oder theilweisen Schwundes seines flüssigen Inhaltes ist, und mit Schrumpfung, oft Faltung der Sklera einhergeht.

Das Auge kann um ein Drittel, die Hälfte, aber nicht wohl kleiner als eine Erbse werden. Die Form des Bulbusstumpfes ist je nach den bedingenden Verhältnissen und der Dauer der Entwikelung sehr

verschieden. Selten schrumpft die Sklera regelmässig, und der Bulbus stellt dann in den höheren Formen einen harten, rundlichen, an der Oberfläche glatten Knopf dar. Meist ist aber die Sklera mehrfach gefaltet und geknikt, wie in sich zusammengefallen. Dabei ist sie entweder im ganzen Umfange oder doch theilweise beträchtlich verdickt, aber ohne Einlagerung fremder Elemente in ihr Gewebe. Die Falten streichen sowohl in der Richtung der Meridiane als in jener des Aequators. Es entsprechen der Lage der geraden Augenmuskeln tiefe kerbige Einziehungen, und ebenso kommt hinter der Insertion dieser Muskeln in der Richtung des Bulbusäquators eine ringförmige Furche vor. (s. Fig. 46.) Der Augapfel sieht dann im Profil einem Hutpilz nicht unähnlich, wobei die vordere Hälfte den Hut, die hintere, mehr geknikte und in die Concavität der vorderen hineingestülpte, den Strunk darstellt.

Fig. 46.

Die Cornea ist meist gänzlich oder doch theilweise geschwunden, an ihrer Stelle Narbengewebe, oft ein kallöser Narbenknopf.

Der Innenraum des Bulbus ist gewöhnlich arm an flüssigen Elementen; die Kammern aufgehoben, die atrophirte Iris mit der Cornea und den Resten des Linsensystems verwachsen; die Linse geschwunden oder verkleinert, dabei die Kapsel verdickt, gefaltet, der Linsensack mit Fett und Kalkpräcipitaten erfüllt. Die Chorioidea atrofirt, an ihrer inneren Fläche eine oft beträchtlich dicke Schale bindegewebiger Neubildung mit theilweiser Kalk- und Knochenmetamorfose. Eben solche Präcipitate und Bindegewebe erfüllen den verkleinerten Raum des Glaskörpers.

Die Retina ist meist gänzlich destruirt, der nervus opticus oft bis zum Chiasma atrophirt. Phthisische Bulbi liegen tief in der Orbita. Die Bewegung des Bulbusstumpfes ist immer beschränkt, derselbe oft nur in der Richtung einzelner Muskeln beweglich; die Conjunctiva sclerae erscheint schmutzig gelblich, von einzelnen Gefässen durchzogen; der Conjunctivsack normal weit, häufiger durch Phthisis conjunctivae verengert. Die Augenlider sind eingesunken, der levator palpebrae superioris oft paralytisch, das untere Lid steht entweder vom Bulbus ab, oder ist entropionirt; das paralytische Oberlid schiebt sich oft zwischen den Bulbus und das Unterlid, und reizt so die Conjunctiva. Theils durch die Bloslegung, theils durch den mechanischen Reiz der nach einwärts gestülpten Lidränder entwikelt sich chronischer Catarrh der Palpebralbindehaut. Die dem phthisischen Bulbus ent-

sprechende Gesichtshälfte hat meist einen paralytischen Ausdruck, weil die Hilfsmuskeln des Auges wegen mangelnder Übung sich involviren. Wenn die Phthisis in früher Jugend entsteht, bleibt die Entwikelung der Orbita, und damit jene des Stirnbeines, Jochbeines, Oberkiefers u. s. w. zurück, die ganze entsprechende Gesichtshälfte erscheint schwächer, als die andere, und das Ansehen des Patienten wird dadurch sehr entstellt. Das Sehvermögen kann je nach dem Grade des combinirten Retinalleidens entweder gänzlich erloschen, oder noch deutliche Lichtempfindung vorhanden sein.

Ätiologie. Die Consumptio bulbi ist manchmal die Folge einer directen Entleerung der flüssigen Augapfelcontenta durch eine Wunde des Auges, namentlich durch Skleralwunden mit Verlust einer Partie des Glaskörpers; Verlust der Linse und des Kammerwassers für sich kann mit traumatischem Substanzverlust der Cornea combinirt gleichfalls Phthisis bulbi zur Folge haben. Die Phthisis bulbi wird zuweilen auf operativem Wege absichtlich eingeleitet. Häufig entsteht dieser Formfehler in Folge abscedirender Entzündung des Auges, Keratoiritis purulenta, Chorioiditis mit eitrigem Infiltrate in den Glaskörper. Fibrinöse Chorioiditis führt ferner zur Atrophia progressiva bulbi, als deren letzter Ausgang Phthisis bulbi beobachtet wird.

Wo sich durch eine Wunde binnen kurzer Zeit ein grosser Theil des Augapfelinhaltes entleert hat, erscheint der phthisische Bulbus meist ganz unregelmässig gefaltet. Wo die Phthisis auf Atrophia progressiva folgt, schrumpft die Sklera meist ziemlich regelmässig. Der Augapfel ist rundlich oder kubisch, aber die Sklera selten höhergradig gefaltet. Purulente Entzündungen mit Verschwärung der Cornea erzeugen dagegen meist die Hutpilzform des phthisischen Bulbus; die vordere Hälfte desselben hat hiebei ihre Form nicht wesentlich verändert. Sie ist nur in der Richtung der geraden Augenmuskeln gekerbt. Die durch den Schwund des Glaskörpers in sich gefaltete hintere Hälfte schrumpft dagegen beträchtlich, und wird, während die vordere Hälfte durch die Wirkung der Augenmuskeln nach rückwärts rückt, von vorn nach hinten comprimirt, und stülpt sich in die Cavität der vorderen Fläche ein. — Der Bulbusinhalt hat selbstverständlich einen wichtigen Einfluss auf die Gestalt phthisischer Augen. Grössere Mengen flüssiger oder plastischer Exsudate, die keine Tendenz zur Resorption haben, verhindern die Entwikelung höherer Grade der Phthisis. Namentlich wenn Kalk- oder Knochenschalen an der inneren Fläche der Chorioidea vor der Entwikelung des Schwundes des Bulbus gesetzt

waren, so hindern sie das Einsinken der entsprechenden Partie der Sklera. Da solche Präcipitate namentlich in der hinteren Hälfte zu Stande kommen, so plattet sich dann meist der Bulbus von vorn nach hinten ab.

Die Phthisis bulbi ist ein ständiger Formfehler. Spontan entwikelt sich in dem Bulbusstumpfe nicht wohl neue Entzündung. Neuralgische Erscheinungen begleiten die Krankheit gleichfalls nicht. Sie wird nur dann nebst der Entstellung und Blindheit, welche sie mit sich führt, belästigend, wenn sie von Formfehlern der Lider begleitet ist, welche zur Irritation der Bindehaut Veranlassung geben. Selbst heftigere Verletzungen verursachen in dem wasserarmen Bulbusstumpfe nur selten heftigere Reactionsphänomene. Bei Phthisis des einen Auges ist im Allgemeinen das andere Auge nicht wohl gefährdet, und kann durch die ganze Lebenszeit normal bleiben.

Behandlung. Es ergibt sich hier die Indication:

1. Die Entstellung möglichst zu heben; 2. in Fällen von Formfehlern der Lider mit Irritation der Conjunctiva die bestätigenden Symtome zu bekämpfen; 3. der Involution der Orbita, des Gesichtsskeletes und der Gesichtsmuskeln, namentlich bei jugendlichen Individuen möglichst vorzubeugen.

Allen diesen Indicationen genügt in manchen Fällen die Einlegung eines künstlichen Auges in den Conjunctivasack. Namentlich ist bei Kindern diese Operation allein geeignet, die kümmerliche Entwikelung der dem phthisischen Bulbus entsprechenden Gesichtshälfte hintanzuhalten. Zuweilen wird man die Behandlung auf die Bekämpfung des begleitenden Catarrhs der Conjunctiva zu beschränken haben. In anderen Fällen, bei Entropionirung der Lider kann die Abtragung des Haarzwiebelbodens, oder die Einleitung einer künstlichen Blepharophimose angezeigt sein. Durch beide letztere Operationen gelang es mir die belästigende Erscheinung der Conjunctivalirritation dauernd zu beheben.

Von den künstlichen Augen.

§. 51. Künstliche Augen wurden schon frühe in Fällen von Phthisis bulbi mit oder ohne Zerstörung der Lider angewendet. Es waren gemalte oder emaillirte Metallplatten, welche entweder vor die Augenlider (Ekblephara) oder unter dieselben (Hypoblephara) gebracht wurden. Die Ekblephara wurden mittelst eines metallenen Bogens an der Stirne

befestigt. Selbstverständlich denkt heutzutage nicht wohl Jemand mehr daran, ein täuschendes Ekblepharon herzustellen. Es sind gegenwärtig bloss Hypoblephara im Gebrauche. Man hatte sie einige Zeit von Gold mit einer Emaildecke an der Vorderfläche. In neuerer Zeit verwendet man jedoch ausschliesslich künstliche Augen aus Glas, weil sie die natürlichen am täuschendsten ersetzen. Es sind diess Kugelschälchen von den Durchmessern des Conjunctivasackes und der Wölbung der Vorderfläche eines normalen Auges. Die Sklera ist durch beinweisses Glas (Email) imitirt, die Cornea durch eine diaphane Glasperle, hinter welcher aus gesponnenem, gefärbtem Glase die Iris dargestellt ist. Die künstlichen Augen von Jerak in Prag dürften zu den besten gehören. Jene von Boissonneau sind berühmt, und in der That recht schön. Auch hat Boissonneau das Verdienst, eine sorgfältigere und jedem speciellen Falle angepasste Construction zuerst empfohlen und durchgeführt zu haben; doch ist die Iris der Jerak'schen Hypoblephara entschieden sorgfältiger und naturgetreuer gearbeitet.

Die Grösse des künstlichen Auges richtet sich nach dem Grade der Phthisis bulbi. Es soll eigentlich genau so viel Raum einnehmen, als das verloren gegangene Stück des Augapfels; seine hintere concave Fläche soll möglichst genau an die vordere Fläche des Bulbusstumpfes passen; jedenfalls muss es so sitzen, dass es mit dem Scheitelpunkte seiner künstlichen Cornea in gleichem Niveau wie jene des normalen Auges stehe. Auch muss die Cornea sich in der Mitte der Lidspalte befinden. Da es in den Conjunctivasack eingelegt werden muss, so wird selbstverständlich dessen Ausdehnung die Grösse des künstlichen Auges bestimmen. Von der Capacität des Conjunctivasackes und der Normalität des Gerüstes der Lider hängt ferner die entsprechende Fixirung desselben ab. Wo die Conjunctiva in höherem Grade phthisisch ist, oder Neubildungen etc. den Conjunctivasack verengern, der Lidknorpel geschrumpft, das Lid verkürzt ist, kann das Hypoblepharon nicht eingelegt werden.

Die Bewegung künstlicher Augen kann selbstverständlich immer nur eine sehr beschränkte sein; denn sie liegen gewöhnlich ziemlich fest eingekeilt im Conjunctivasacke, und berühren mit ihren Rändern die Übergangsfalten. Bei jeder seitlichen Bewegung muss demnach sofort das Schälchen an dem Fette der Orbita ein Hinderniss weiterer Excursionen finden. Künstliche Augen stehen also ziemlich starr, und dieser Übelstand macht nahezu alle cosmetischen Vortheile zu Nichte, welche sonst die Prothesis ocularis hätte. Die Kranken müssen, wenn

der Ersatz täuschend bleiben soll, sich gewöhnen, immer möglichst gerade vor sich hin zu sehen; denn bei jeder seitlichen Wendung bleibt das künstliche Auge zurück, und der Ausdruck der Physiognomie wird dadurch eher abschrekend, als empfehlend. — Die Bewegung künstlicher Augen ist bei Phthisis bulbi unzweifelhaft das Resultat der durch die Recti eingeleiteten Bewegung des Bulbusstumpfes. Werden Hypoblephara nach der Exstirpatio bulbi eingelegt, so ist die Beweglichkeit derselben noch unvollkommener, und zunächst das Resultat der Bewegung der Lider und der dadurch hervorgebrachten Zerrung der Bindehaut.

Die Einlegung des künstlichen Auges geschieht in folgender Weise: Man zieht vorerst mit dem kleinen Finger der linken Hand das untere Lid etwas vom Bulbus ab, und schiebt dann das mit Daumen und Zeigefinger derselben Hand gehaltene Schälchen mit seinem unteren Rande vom inneren gegen den äusseren Winkel zwischen dieses Lid und den Bulbus ein. Hierauf zieht man, während das Schälchen auf der Übergangsfalte der Conjunctiva des unteren Lides ruht, und daselbst fixirt gehalten wird, das obere Lid mit der rechten Hand allmälig vom äusseren gegen den inneren Winkel vom Bulbus ab, indem man es gleichzeitig hebt. Durch einen leichten Druck gleitet nun das Schälchen leicht unter das obere Lid, und legt sich an den Bulbusstumpf an, worauf man die Lider selbst loslässt. — Herausgenommen wird das Hypoblepharon, indem man das untere Lid möglichst vom Auge und herabzieht. Gleitet das Schälchen hierauf nicht von selbst hervor, so kann es mit einer Sonde (Steck- oder Stricknadel), welche man zwischen dasselbe und den Bulbus von unten nach aufwärts schiebt, leicht gehoben und hervorgeholt werden. Da es manchmal durch den Druck des Oberlides rasch hervorstürzt, so ist es räthlich, um das Zerbrechen des künstlichen Auges zu verhüten, dass der Kopf bei diesem Manöver über einer weichen Unterlage gehalten werde.

Die Kranken müssen sowohl die Einlegung als Herausnahme des Hypoblepharon selbst üben, und lernen diess auch leicht.

Immer erzeugt das künstliche Auge mindestens Anfangs Irritation der Conjunctiva, manchmal heftigeren Catarrh, Ciliarneuralgie. Viele Kranke gewöhnen jedoch bei passender Construction des Schälchens, und wo seine Einlegung sonst indicirt ist, bald den längeren Gebrauch des Hypoblepharon. Wo es gut vertragen wird, kann es den ganzen Tag liegen bleiben. Selbstverständlich muss es jedoch mindestens vor

dem Schlafengehen herausgenommen werden, schon um es vor dem Zerbrechen im Schlafe zu bewahren. Die zeitweilige Entfernung ist auch nöthig, theils um das Auge, theils das Schälchen selbst zu reinigen.

Nach einem Jahre, auch noch früher verlieren die meisten künstlichen Augen den Glanz der Oberfläche und müssen durch neue ersetzt werden. Es ist jedem Patienten zu rathen, sich wo möglich einen Vorrath solcher Gläschen anzuschaffen, da es doch immer leicht zerbrechliche Instrumente sind. Es kann nicht genug Gewicht darauf gelegt werden, dass jedes künstliche Auge den räumlichen Verhältnissen genau angepasst werde. Zu diesem Zwecke sollte jedes Hypoblepharon vom Künstler für den speciellen Fall nach genauen Massen konstruirt sein. Gegen dieses Grundgesetz wird nur zu oft gefehlt, indem die Patienten das künstliche Auge nach beiläufigen Massen aus dem Vorrath des Künstlers wählen, wobei sie mehr auf die entsprechende Farbe der künstlichen Iris, als auf die Form des Schälchens sehen. Daher beobachtet man nicht selten heftige Conjunctivalreizung, selbst hochgradige Wucherungen und Ulcerationen der Conjunctiva an jenen Stellen, wo das anpassende Schälchen einen beharrlichen Druck ausübt. Es muss in diesen Fällen das Einlegen des Auges oft für längere Zeit sistirt werden. Conjunctivalcatarrhe müssen bekämpft, und Wucherungen dieser Membran mit dem Messer entfernt werden.

Indicationen. Die häufigste Indication zur Einlegung eines künstlichen Auges ergibt sich bei Phthisis bulbi. Hier wird nur in enen Fällen die Application nicht vorgenommen werden können, wo der Conjunctivasack nicht die nöthige Capacität hat, oder wo die Lider hochgradig geknickt, geschrumpft, ektropionirt sind. Nach der Exstirpation des Augapfels werden künstliche Augen gleichfalls in den Conjunctivasack applicirt. Bei Anophthalmus und Mikrophthalmus congenitus dürfte die Prothesis ocularis wegen der meist gleichzeitig kümmerlichen Entwikelung der Lider und Conjunctiva kaum jemals indicirt sein. Bei atrophia bulbi (progrediens) wird ein künstliches Auge niemals vertragen.

§. 52. Atrophia bulbi (progressiva). Auch diese Verkleinerungsform ist gleich der Phthisis das Resultat eines Schwundes des Augapfel-Inhaltes, und geht mit Schrumpfung der Sklera einher. Aber der Schrumpfungsprocess ist hier noch nicht abgeschlossen, die Resorption des Augapfelinhaltes schreitet, wenn auch oft kaum merklich, vorwärts. Die Atrophie geht endlich in Phthisis über, es ist jedoch von hoher praktischer Bedeutung, den Krankheitsprocess

auf einem früheren Entwikelungsstadium zu markiren, und von der Phthisis zu trennen. Der Bulbus ist bei Atrophie je nach dem Grade der Affection verschieden verkleinert. Ein hervorragendes und constantes Symptom ist die Schlaffheit der Sklera und Cornea (synchisis). Selten zeigt der Bulbus dabei eine auffallende Unregelmässigkeit, er erscheint in der Richtung der geraden Augenmuskeln nur mässig eingedrückt, quadratisch, die Sklera ist verdickt. Die Durchmesser der Cornea sind entweder einfach verkleinert (microcornea) oder dieselbe phthisisch, an ihrer Stelle Narbengewebe.

Im Innenraume des Bulbus sind stets die Symptome einer Chorioiditis totalis zumeist in der fibrinösen Form mit allmäliger Resorption der flüssigen Elemente des Exsudates sowohl an der Innenfläche der Chorioidea als im Glaskörper zu beobachten.

Der Bulbus liegt tief in der Orbita, seine Bewegungen sind beschränkt. Die Conjunctiva sclerae ist schmutzig gelbröthlich, in der Regel beträchtlich hyperämirt, mindestens tritt die Hyperämie schon bei geringen äusseren Reizen, leichtem Druck des Bulbus, Lüften der Lidspalte etc. auf, ein dichter Skleralgefässkranz entwikelt sich um die Cornea, die Kranken klagen zeitweilig über heftige Ciliarneuralgie, der Bulbus ist gegen Berührung meist sehr empfindlich. Das Sehvermögen ist stets beträchtlich herabgesetzt, häufig jede Lichtempfindung erloschen. Subjective Gesichtsphänomene, Zeichen einer Irritation des Leitungs- und Centralapparates der Lichtempfindung sind oft vorhanden.

Ätiologie. Die Atrophia bulbi progressiva ist stets die Theilerscheinung einer Chorioiditis (ophthalmia interna) zunächst jener mit fibrinös albuminoser auch eitriger Exsudation, welche zur allmäligen Resorption des Exsudates und atrophischen Involution des Bulbus führt. Diese Form entwikelt sich vorzüglich in Folge tiefdringender Verletzungen, ferner bei Syphilis, Scrophulose, Pyämie, Puerperalprocess.

Die Entzündung kann sich über alle Bulbusgebilde verbreiten, übergeht oft auch auf den Sehnerven und das Chiasma, und führt unter Fortdauer congestiver Phänomene allmälig zur Atrophie dieser Gebilde Durch letztere Complication kann der Bulbus der andern Seite in Mitleidenschaft gezogen werden. Er erkrankt entweder gleichfalls unter den Symtomen von Chorioidalcongestion, welche in Chorioiditis und Iritis übergeht (Iridochorioiditis sympathica), oder die Affection verlauft noch häufiger unter den Erscheinungen der progressiven Atrophie des optischen Nerven, der Leitungsamaurose (sympathischer

Amblyopie). In einer andern Reihe von Fällen kann das Entstehen der sympathischen Amblyopie einer auf dieses zweite Auge unmittelbar fortschreitenden Chorioiditis oder Atrophie des optischen Nerven nicht zugeschrieben werden, indem weder das Ophthalmoskop noch die Sektion den Nachweis derselben zu liefern vermag. Höchstwahrscheinlich ist sodann die sympathische Affektion eine Folge von Erkrankung der Centraltheile der Lichtempfindung, die sympathicshe Amblyopie ist eine centrale. — Man erklärt das Entstehen derselben auch durch die von einem Bulbus auf den andern fortgepflanzte Reizung des Ciliarnervensystems; wenn aber eine solche Fortpflanzung in der That vorliegt, so kann sie doch wieder nur unter Vermittelung der Centraltheile der Lichtempfindung gedacht werden. (Mehr hierüber bei Besprechung der Chorioiditis.)

Behandlung. Es gelingt nur selten, die Atrophia progressiva durch Regelung der Augendiätetik und durch die Anwendung jener Pharmaca, welche gegen Chorioiditis empfohlen werden, zum dauernden Stillstande zu bringen. Ein operatives Einschreiten wird meist geboten, und kann nicht frühe genug empfohlen werden. Es ist mir in einigen Fällen niedergradiger Atrophie gelungen, durch die Iridektomie mit oder ohne Extraction der Linse den Krankheitsprocess zu sistiren; der Bulbus wurde wieder prall, die Ciliarneuralgie und die congestiven Erscheinungen traten zurück, das Sehvermögen war bis zur Unterscheidung grosser Objecte gehoben. — Wo jedoch bereits die Erscheinungen der sympathischen Amblyopie, wenn auch noch in niederem Grade (Lichtscheu, zeitweise Umnebelung des Gesichtes, Accomodationsuntüchtigkeit, Ciliarneuralgie, träge Bewegung der Iris), auftreten, reicht die Iridektomie nicht immer aus, um den weiteren Fortschritt der Krankheit zu hemmen, und es muss der atrophische Bulbus entweder durch die Resection eines Stückes der Hülle und Entleerung des flüssigen Inhaltes (ein der Staphylomoperation ähnliches Verfahren) in einen phthisischen Stumpf umgewandelt werden; oder man schreitet zur Exstirpation des Bulbus. Letzteres Verfahren ist vorzuziehen.

Exstirpation des Bulbus (Enucleation).

§. 53. Bartisch (1583) gab zuerst eine genauere Beschreibung dieser Operation; er bediente sich eines löffelartigen Messers, welches er unter dem obern Lide in die Orbita einstiess, und damit den Bulbus „in einem Hui“ durch einen Kreisschnitt von allen Verbindungen trennte. Zur Fixation des Bulbus hatte F. Hildanus (1600) einen Schnürbeutel, Louis (1774)

Beer, Richerand einen Haken, Schmucker einen Pfriemen, Solingen, Richter (1790) eine Fadenschlinge, Desault (1783) fasste denselben sogar mit den langen Nägeln der Finger. Chelius (1839) empfiehlt die Musseux'sche Zange, welche ich gleichfalls gewöhnlich anwende. Manchmal reicht man jedoch selbst mit einer stärkeren Pinzette aus. Zur Exstirpation hatten nebst Bartisch auch Hilden, Solingen, Helling (1821), Gräfe, Desault, Richter messerförmige Instrumente, theils gerade theils nach der Fläche gekrümmte. Louis führte die gekrümmte Scheere ein, welche sich am meisten empfiehlt und in gegenwärtiger Zeit auch ziemlich allgemein als Exstirpator dient. Richter spaltete vorerst die äussere Lidkommissur, und ist diess in allen jenen Fällen, wo die Lidspalte relativ oder absolut enge ist, räthlich.

Während man früher bei der Exstirpation des Auges wenig Rücksicht auf die methodische Ablösung der Augenmuskeln, die möglichste Schonung der Scheidenhaut, des optischen Nerven, der arter. und vena ophthalmica nahm, haben O'Ferrall (1841), Bonnet (1842), Stöber, Critchett, Arlt (1859) u. a. das Verfahren dahin vereinfacht und vervollkommt, dass sie bloss die vordere Kapsel des Bulbus eröffnen, die Muskeln an ihrer Insertionsstelle trennen, und mit der Ablösung des optischen Nerven hart an seinem Skleralende die Ausschälung des Auges aus seiner Kapsel vollenden. (Enucleation). Hiedurch hat diese Operation an ihrer Gefährlichkeit viel verloren, und konnten daher die Indikationen derselben erweitert werden.

Die Exstirpation findet Anwendung: 1. bei der Exstirpation von Orbitalgeschwülsten in jenen Fällen, wo die radikale Entfernung ohne Beseitigung des Bulbus unmöglich ist; oder wo mit der Exstirpation der Geschwulst auch die Ernährungsquellen des Bulbus abgeschnitten werden müssen, wie z. B. beim Sitze eines Krebses in der Tiefe der Orbita, 2. bei Krebs des Augapfels, 3. bei Entwikelung von sympathischer Amblyopie auf dem anderen Auge in Folge von progressiver Atrophie des ersten.

Die Operation geschieht in der Rückenlage und Chloroformnarkose des Patienten. Man benöthigt drei Gehilfen, eine Musseuxsche Hackenzange, zwei stumpfe Haken, eine Blömer'sche Pinzette, Louis'sche Scheere, zwei Spritzen, Charpie, Binden, Eiswasser. Ein Gehilfe überwacht die Narkose, einer erweitert die Lidspalte, einer reicht die Instrumente, und blutstillenden Mittel. Während der Gehilfe die Lider abzieht, und nach Umständen auch die Lidspalte mit stumpfen Hacken erweitert hält, spaltet der Operateur vorerst die äussere Commissur.

(Diess jedoch nur bei Exstirpation von Orbitalgeschwülsten und bei Krebs des Bulbus; bei Atrophie des Bulbus ist es überflüssig.)

Man fasst die Conjunctiva im inneren oder äusseren Winkel mit der Pinzette in eine Horizontalfalte und schneidet diese mit der Scheere ein; hierauf wird die Musseuxsche Hackenzange an der vordern Fläche des Bulbus eingesetzt, und dieser damit fixirt. Ist diess geschehen, so geht man mit dem stumpfen Blatt der Louisschen Scheere, deren Concavität gleichzeitig gegen den Bulbus gerichtet wird, in die Conjunctivawunde ein, und indem man das Blatt zwischen Muskel und Sklera einführt, durchschneidet man, allmälig die Scheere dem Bulbusäquator entlang fortschiebend, einen Muskel nach dem andern sammt der überliegenden Conjunctiva und Scheidenhautpartie. Nach Ablösung der Muskeln, welche durch entsprechende Drehung des Bulbus mittelst der Hackenzange wesentlich gefördert wird, bleibt nur noch der optische Nerve zu trennen. Man zieht und rollt den Bulbus ein wenig nach vorwärts und einwärts, geht mit der halbgeöffneten Scheere hart an der Sklera von aussen nach der hinteren Polgegend des Bulbus, und trennt den optischen Nerven mit einem Schlage.

Der Bulbus kann sofort mit der Zange aus der Orbita hervorgezogen werden und hängt nur mehr an sehr lockeren Verbindungen, die abgelöst werden. Die Blutung ist meist sehr gering, und wird durch Einspritzungen kalten Wassers gestillt; Coagula werden entfernt, die Lider aneinandergelegt, mit Charpie locker bedeckt, und diese mittelst einer um den Kopf gelegten Binde (monoculus) befestigt. — Ist die Blutung beträchtlich, (was in jenen Fällen vorkommen kann, wo Orbitalgeschwülste exstirpirt werden, und entweder die art. ophthalmica oder ihre grösseren Zweige verletzt wurden) dann ist es räthlich, in die Orbita selbst einen Charpietampon einzuführen, über die Lider gleichfalls Charpie zu legen, und das Ganze mit dem Monoculus festzuschliessen. Der Charpietampon muss aber am zweiten Tage wieder entfernt werden. Nachblutungen erfolgen nicht leicht, und sind durch Injektionen, so wie durch Auflegen von kolophonirter Charpie zu stillen. Die Nachbehandlung erfordert sorgfältiges Reinigen der eiternden Orbitalwunde. Die Heilung erfolgt meist in wenigen Tagen, indem die Wundränder der Conjunctiva, der Scheidenhaut und Muskeln zu einem zuweilen ziemlich derben Narbenstumpf verwachsen, der in der Tiefe der Orbita liegt. Konnte die Conjunctiva möglichst geschont werden, so hat auch der Bindehautsack immer ausreichende Grösse, um ein künstliches Auge einzulegen. Die Einlegung des künstlichen Auges

vor völliger Vernarbung der Wunde vorzunehmen, ist kaum räthlich, weil, wie es scheint, hiedurch der Reizzustand protrahirt, eine grössere Consumtion der Conjunctiva und Scheidenhaut begünstigt wird, und dadurch die Capacität des Conjunctivasackes beengt werden kann.

§. 54. Verletzungen der Sklera. Die Verletzungen der Sklera sind meist aus dem Grunde mit grossen Gefahren für das Auge verbunden, weil sie durch beträchtliche Gewalten hervorgebracht werden, wobei auch eine Verletzung der anderen Elemente, Bindehaut, Chorioidea, Retina, Glaskörper etc. mit entsteht. Anderntheils führen perforirende Wunden leicht zu Dislocationen der Bulbusgebilde, und hiedurch zu bedenklichen Folgen. Einfache Stich- oder kleine Schnittwunden heilen leicht. Ist jedoch der Stich- oder Schnittkanal irgend beträchtlich, so prolabirt ein Theil des Glaskörpers, selbst der Chorioidea und Retina, es kommt zur theilweisen Abstossung des Prolapsus, zu plastischer Exsudation im Scheidenhaut- und Choiriodalgewebe. Hat sich die Conjunctiva über die Wunde verschoben, so heilt diese im Allgemeinen rasch. Liegt die Wunde jedoch offen, so kommt es zuweilen zur Granulationsbildung, und endlich zur Bildung einer entweder eingezogenen dünnen, oder kallösen, knopfförmigen Narbe. In der Umgebung solcher Narben entwikeln sich manchmal diffuse oder circumscripte Skleralstaphylome. Es kommen jedoch hier wie bei allen Verletzungen zuweilen staunenswerth günstige Heilungen zu Stande. — Ein Kaufmannslehrling hatte sich zufällig ein breites Messer in das Auge gestochen. Er kam unmittelbar darauf ins Krankenhaus mit einer Spaltwunde des Bulbus, welche von der Übergangsfalte des obern Lides schräg durch die Sklera, äusseren Theil der Cornea bis zur Übergangsfalte des untern Lides reichte, auf eine Linie klaffte. Ein Theil der durchschnittenen Iris und Glaskörper drängte sich durch die Wunde hervor. Abtragung der prolabirten Iris, Reinigung der Wunde, Schluss der Lidspalte mit Heftpflaster, kalte Umschläge und Rückenlage. Nach acht Tagen war die Wunde ohne die geringste Reaktion verheilt. Patient verliess die Anstalt mit einer geradlinigen, durch das untere äussere Drittheil der Cornea ziehenden Narbe und Iriskolobom. Die Skleralwunde war durch eine geradlinige, sehnichte, wenig merkbare Narbe geschlossen. — War die Verletzung beträchtlich, namentlich mit Erschütterung verknüpft, ist die Sklera geborsten, oder lappig zerrissen, von stumpfen Werkzeugen durchbohrt worden, dann kompliciren sich meist beträchtliche Vorfälle, der Linse, des Glaskörpers, Choroidea, intraokuläre Apoplexie etc. Es folgt Panophthalmitis, gänz-

licher oder theilweiser Schwund des Augapfels, oder doch längerdauernde Exsudativprocesse in weiterer Circumferenz der Wunde; die Skleralwundränder schwellen beträchtlich, erscheinen von starrem allmälig eitrigschmelzendem Exsudate infiltrirt, stülpen sich zuweilen nach Aussen um, es kommt zur Granulationsbildung im ganzen Wundbereiche, und endlich zur Bildung einer strahligen, tief eingezogenen, sehnichten, stellenweise pigmenthaltigen Narbe. Das Schvermögen geht in solchen Fällen meist gänzlich zu Grunde.

Die Sklera berstet in Folge von Erschütterung des Auges häufiger als die Cornea. Die Rissstelle befindet sich meist in der Nähe der Cornea, 2—3 Linien davon entfernt; häufiger in der oberen als unteren Hälfte. — Die constante Verheilung von jeder Art Wunden der Sklera mit Bildung einer undurchsichtigen Narbe macht es erklärlich, dass alle Versuche, in der Sklera eine künstliche und dauernde Öffnung zu bilden, Sklerektomie, Sklerodialyse (Authenrieth, Himly, Wutzer, Stilling, v. Ammon u. a.) gescheitert sind.

Die Behandlung der Skleralwunden besteht vor Allem in Entfernung eingedrungener fremder Körper, Reinigung der Wunde von Schmutz, Blutcoagulis etc., in der Entfernung und Abtragung vorgefallener Bulbusgebilde (der Linse, Iris, Chorioidea, Glaskörper), der Blutstillung, möglichster Adaptation der Wundränder, Verschluss der Lidspalte durch breite englische Heftpflasterstreifen, welche allenfalls an den Rändern mit Collodium bestrichen werden. Hierauf bringe man den Patienten in die Rückenlage, und empfehle Ruhe des Körpers, Verdunkelung des Lokals, kühlende Getränke, mässige reizlose Diät. Auf das Auge und die Stirne werden in Eiswasser getauchte Compressen gelegt. Heftige Schmerzen bekämpft man durch Einreibung von Opium in die Stirn- und Schläfengegend, und den innerlichen Gebrauch von Morphium. Der Verband werde vor dem sechsten Tage nicht gelöst. Der Patient soll die Rückenlage durch mindestens zwei Tage einhalten, alle Muskelintention muss durch längere Zeit sorgfältig vermieden werden.

§. 55. Texturanomalien der Sklera.

Die selbstständige Entzündung der Sklera gehört gewiss zu den seltensten Krankheiten, wenn die Möglichkeit derselben auch nicht gänzlich geläugnet werden soll. Ich habe sie nicht beobachtet. Dagegen entwikelt sich die Skleritis (Sklerotitis) zuweilen als eine secundäre Affection bei Exsudativprocessen im Episkleralgewebe, ebenso wie bei jenen der Aderhaut. Der Entzündungsprocess schreitet daher entweder *von aussen* nach innen oder umgekehrt in den Schichtlagen der

Sklera fort, oder Exsudate durchdringen das Skleralgewebe namentlich im Bereiche der Emissarien, in den Gefässbahnen. Vorzüglich betheiligt sich die Sklera bei heftigeren eitrigen Exsudationen in ihrer Nachbarschaft. Am allerhäufigsten führen daher Traumen zur wahren Skleritis. Das Gewebe wird durch Aufnahme einer grösseren Quantität flüssiger Elemente (Blutserum) gelockert; es kommt zur Entwikelung trüber Kern- und Zellenbildender fasserstoffiger oder eitriger Exsudate, zur Maceration des Skleralgewebes und nachfolgender Narbenbildung, oder häufiger zu atrofischer Consumtion und Verdünnung der Sklera. v. Stellwag beschreibt auch die tuberculöse Infiltration der Sklera; er fand den vordern Theil der eigentlichen Lederhaut in einem mehr als haselnussgrossen Tuberkel der Ader- und Netzhaut, welche Organe in dem Infiltrate zu Grunde gegangen waren, geschmolzen.

Was von den Autoren als Skleritis idiopathica, namentlich auch unter der Bezeichnung ophthalmia rheumatica, sclerotitis scrofulosa, herpetica u. s. w. beschrieben wird, beruht nach meiner Überzeugung auf Krankheiten, deren wesentlichster Sitz entweder die Scheiden- oder Aderhaut des Auges ist. Hiebei wird die Sclerotica nur selten von Produkten mit grösserem Gehalt an festeren Stoffen durchsetzt. Vielmehr betheiligt sie sich in solchen Fällen meist nur insofern, als sie durch allmälige Aufnahme einer grösseren Quantität von Blutserum weicher wird, dem intraokulären Druck geringeren Widerstand leistet, und somit verschiedene Grade von Dehnung und Verdünnung ihres Gewebes erfahren kann. Die Ätiologie und Symptomatologie der Skleritis als einer secundären Krankheit fällt somit in das Bereich der Affectionen der Scheiden- und Aderhaut.

§. 56. Neoplasien der Sklera.

Bei der nach Verletzungen der Sklera folgenden Vernarbung kommt es zuweilen zu excessiver Wucherung des Bindegewebes, in der Form eines knorpelharten, sehnicht glänzenden Knotens (papula scleroticae), welcher auch von verdickten, vascularisirten Episkleralschichten überzogen sein kann. — (W. Mackenzie hat fibröse Knoten auch bei skrofulösen, kachektischen Kindern unter gleichzeitigen Erscheinungen der ophthalmia interna beobachtet, sie sollen die Neigung zur Ulceration zeigen, zuweilen zu fungösen Wucherungen Veranlassung geben.) Blasius (Ztsch. f. Ophth. 1834) fand eine Knochenlamelle in der Sklera. Die Bildung seröser Cysten in der Sklera ist mehrfach beobachtet worden. Nicht selten dürften in

solchen Fällen abgesackte Chorioidalexsudate mit consecutivem Skleralstaphylom oder episklerale Cysten vorgelegen haben.

Dermoidgeschwülste der Conjunctiva sitzen zuweilen mit ihrem panniculus adiposus unmittelbar der Sklerotica auf; und in einem Falle von Fettwucherung des subkonjunktivalen Gewebes fand ich das Fett so tief in die vorderen Schichten der Sklera eingesenkt, dass die radicale Exstirpation nicht räthlich schien, wenn das Auge vor der Gefahr einer Perforation der Sklera bewahrt bleiben sollte.

Der Krebs der Sklera ist selten; es ist zweifelhaft, ob er sich überhaupt jemals primär in ihrem Gewebe entwikle. Selbst der sekundären Erkrankung widersteht die Sklera sehr lange; hier findet jede Form des Krebses ein mächtiges Hinderniss weiterer freier Entwikelung, und die Wucherung wird in andere Bahnen verdrängt. Es sind jene Fälle nicht selten, wo der ganze innere Bulbusraum und die Orbita von Medullarcarcinom erfüllt sind, die Sklera aber gänzlich immun geblieben ist. Die Sklera vermag aber doch nicht absolut der Krebsentwikelung zu widerstehen, und sowohl der Epidermoidalkrebs als das Medullarsarkom und die Melanose können endlich auf sie übergreifen. Relativ häufiger als das Epiteliom kommt der Medullaris und Melanodes in ihr vor. v. Stellwag (s. dessen höchst beachtenswerthes Werk: d. Ophthalmologie, p. 742) fand den Krebs des Episkleralgewebes stellenweise in die eigentliche Sklera gleichsam eingefressen, indem dieselbe an den betreffenden Stellen verdünnt erschien, und eine rauhe, grubige Oberfläche da zeigte, wo das Carcinom abpräparirt wurde. In anderen Fällen fand er bis erbsengrosse Krebsknoten förmlich eingesprengt in das Gefüge der eigentlichen Sklera mit Verdrängung und gleichsam blasiger Vorbauchung der Wände, so dass bei Melanose das Ganze sich einem Varix täuschend ähnlich präsentirte. Diese Knoten hingen durch erweiterte, mit Krebsmasse erfüllte Emissarien mit einem Uvealkrebs zusammen. — Ich fand in einem Falle den Krebs zwischen den Lamellen der Sklera in mehren Schichten fortwuchernd, so dass diese Lamellen, bei einem Durchschnitt in der Richtung des Meridians, fächerartig in der melanotischen Masse auseinanderlaufende Bündel darstellten.

Durch das Eintreten des Krebses in das Gewebe der Sklera, welches meist in der Richtung der Emissarien geschieht, und die weitere Entwikelung aus einem Interlamellarraum in den andern ist die Bedingung zur endlichen Perforation der Sklera gegeben. So gelangen *Uvealcarcinome* endlich auch durch die Sklera nach aussen. Die

Perforation der Sklera geschieht am häufigsten im Bereiche des corpus ciliare und in der Circumferenz des optischen Nerven. Episklerale Carcinome dagegen gehen niemals durch die Sklera auf die inneren Organe des Bulbus über.

Die Behandlung der Neoplasien ist im Allgemeinen eine operative. Fibröse Knoten der Sklera werden einfach mit der Scheere abgeschnitten. Seröse Cysten erfordern entweder die Paracentese, oder wenn diese, wie häufig, nicht zum Ziele führt, die Excision eines Stückes der vorderen Wand. Der Krebs der Sklera, welcher eine Theilerscheinung des Augapfelkrebses ist, erheischt die Exstirpation des Bulbus. wenn überhaupt damit die radicale Entfernung des Neoplasma möglich ist.



ÜBER DIE GRENZEN

DER

ACCOMMODATION DES AUGES

VON

PROF. JOS. v. HASNER.

MIT 1 HOLZSCHNITT.

PRAG 1875.

J. G. CALVE'sche k. k. Hof- und Universitäts-Buchhandlung

(OTTOMAR BEYER).

3



Druck von Heinr. Mercy in Prag.

Nachdem Kepler 1605 die Projection des Bildes auf der Netzhaut erwiesen hatte, statuirte er auch der Erste 1611 eine, allerdings nicht sehr klar ausgesprochene Verschiebungstheorie der Accommodation. Scheiner (Oculus 1619. p. 23) fasste hierauf die möglichen Einstellungstheorien zusammen; er verlegte die bewegende Kraft nicht allein in die Iris, sondern auch in den Ciliarkörper, und nahm an, dass die Accommodation sowohl durch Formänderung des Auges, als Verschiebung der Linse und Wölbungsänderung derselben zu Stande komme. Er sagt nämlich:

Ciliares processus etiam motrice aliqua vi pollere videntur, ii enim nonnemine suffragante, adstrictu et remissu simile quid tunicae uveae posse censentur; quibus fit ut totum oculum aut in longum aut in arctum cogant, et humores ipsos, praesertim crystallinum et vitreum vel in anteriora vel posteriora compellant: figuramque crystallini nonnihil vel attenuant, vel conglobent.

Scheiner ist also der eigentliche Begründer der heute geltenden Accommodationslehre, so wie M. Langenbeck die Curvenänderung der Linse zuerst (1849) experimentell bestätigte. Nunmehr war es auch möglich, den Gegenstand

mehr zu klären. Aber es harren doch noch manche sehr wichtige hierauf bezügliche Probleme einer günstigen Lösung.

Dass eine Formänderung der Cornea und Sclera, wie Scheiner vermuthete, beim Einstellungsacte nicht vorkomme, vielmehr lediglich eine solche der Linse, ist zwar heute ausser allen Zweifel gestellt; von welcher Art jedoch die Muskelthätigkeit im Binnenraume des Auges sei; — durch welche Kraft die Curven der Linse geändert werden; — welcher Antheil hiebei der Iris oder dem Ciliarkörper oder der Zonula gebühre; — überhaupt welches das Mass und welche die Grenzen der Accommodation seien: — darüber ist eine Einigung noch nicht erzielt, ja eine gründlichere Erörterung mehrer dieser Fragen, namentlich der letzteren, hat überhaupt noch gar nicht stattgefunden.

Anatomische Untersuchungen lehren, dass das Ligamentum ciliare der Wiederkäuer, der Nagethiere u. a. der Muskulatur gänzlich entbehre. Worin besteht dann bei diesen Thieren die Accommodation, wenn nicht die Iris einen Einfluss auf die Curven der Linse ausübt? — Bei Vögeln, beim Seehund u. a. wird der hervorragende Einfluss der Iris auf die Einstellung zugestanden. Aber beim Menschen wird, da Graefe bei einem Kranken, bei welchem die Iris gänzlich entfernt worden war, ein „gutes Accommodationsvermögen" beobachtet haben wollte, der Einfluss der Iris von Vielen geläugnet. Wie ungenau und obenhin war jedoch diese Beobachtung eines ganz abnormen Falles, völlig ungeeignet, die Frage wirklich zu entscheiden! Donders fand, dass die Accommodation der Irisbewegung vorhergehe, und daher nicht davon abhängig sein könne. Aber auch diese Beobachtung zerstreut nicht alle Bedenken, da Aenderungen motorischer Factoren nahe den minimalen Grenzen der Thätigkeit sich leicht der Untersuchung entziehen. — Gerade das Mass, die Grenzen der Accommoda-

tion, mit einem Worte die Maxima und Minima derselben, sind ja noch gar nicht festgestellt, weder theoretisch noch experimentell!

Man wird daher der Discussion noch durch einige Zeit Terrain gewähren müssen, und namentlich muss vor der Illusion gewarnt werden, als ob die — allerdings verdienstlichen — experimentellen Leistungen unserer Epoche den schwierigen, nunmehr seit 200 Jahren schwebenden Gegenstand irgend zum definitiven Abschlusse gebracht hätten!

Gehen wir zunächst in eine Betrachtung der Frage über die Grenzwerthe der Accommodation ein, so zeigt sich, dass die Beobachtung sehr verschiedene Werthe für den Nahpunkt normaler Augen liefere. Die höchste beobachtete Ziffer kann niemals das wirklich erreichbare Maximum der Accommodationsleistung bedeuten. Denn dieses könnte erst dann festgestellt werden, wenn mit normalen Kinderaugen, bei welchen die höchsten physiologischen Werthe von Brechungsindex, Muskelkraft und Elasticität der Linse so wie ihrer Bänder in einander greifen, dauernde Uebungen des Nahesehens angestellt würden. Solche Uebungen sind aber niemals vorgenommen worden, sondern man hat nur sehr vereinzelte Prüfungen des Nahpunktes normaler Augen ohne strenge Alterswahl angestellt, und darauf hin hat Helmholtz 4 bis 5 Zoll als „Nähepunkt“ für normale Augen angenommen; eine Annahme, welche an sich keine exacte Bestimmungsziffer enthält, und wohl auch von ihrem Autor als uncorrigirbar nicht hingestellt worden ist. Es vermögen, wie ich mich häufig bei Sehproben überzeugte, normale kindliche Augen oft bis auf 2 Zoll Objectsdistanz von der Cornea zu accommodiren, und sehr wahrscheinlich könnte durch Uebung — ohne pathologische Zustände herbeizuführen — ein noch kürzerer

Nahpunkt erreicht werden. Denn die Accommodation ist eine Function, welche im gewöhnlichen Leben kaum jemals zur vollen Entwickelung kommt, und wie alle Muskelleistung sehr bedeutender Steigerung fähig sein dürfte.

Welche ist nun diese? oder gibt uns die Theorie nicht Anhaltspunkte, um eine solche im vorhinein festzustellen? Donders (die Anomal. d. Refr. u. Acc. p. 26) hat angedeutet, dass die Entfernung der Objecte behufs Berechnung der Accommodationsbreite bis zum hinteren Knotenpunkte zu zählen sei, und wählte für die Bezeichnung der Accommodationsbreite den Ausdruck $\frac{1}{A}$, wobei die Einheit durch eine Linse von ein pariser Zoll gegeben ist. Das ideelle Punctum proximum, d. h. das Maximum (∞) der Accommodation wäre also nach Donders erreicht, wenn ein Fixirobject bis in den Knotenpunkt hereinrückte. Abgesehen davon, dass sich die ganze Motivirung der Accommodationseinheit bloss auf Bequemlichkeitsgründe der Rechnung stützt, geht daraus hervor, dass der ideelle Grenzpunkt der Accommodation tief im Binnenraume des Auges liegen müsste, was ein physiologischer Widerspruch ist. Wir müssen uns daher nach einem andern Punctum proximum umsehen; denn dieses muss entweder vor dem Auge oder doch an seiner vorderen Grenze liegen, da wir es bei Bestimmungen der Accommodation stets mit Beziehungen auf exoculare, niemals aber mit solchen auf entoptische Objecte zu thun haben.

Bezüglich des Minimum der Accommodation nimmt man gewöhnlich an, dass der ideelle Fernpunkt in unendlicher Ferne liege, dort die Accommodation Null werde. Es müsste also die Muskelthätigkeit bis ∞ fortdauern, die maximalen Werthe der Entfernung müssten noch minimale Werthe der Muskelspannung auslösen. Ist aber diess

irgendwie erwiesen? Durchaus nicht; denn die minimsten Werthe der Muskelthätigkeit entziehen sich der Beobachtung, und es hat sogar den Anschein, als ob der optische Bau des Auges beim Sehen in weitere Fernen keine Accommodation erfordern möchte. Denn die Zerstreuungskreise erreichen, normalen Durchmesser der Pupille vorausgesetzt, erst bei beträchtlicherer Annäherung des Objectes an das Auge einen solchen Werth, dass sich daraus die Nöthigung einer Correction ergibt. Von ∞ bis auf 12 Meter wachsen sie bei 4 mm. Pupillendurchmesser von 0 bis 0·0056 mm. Bei engerer Pupille ist die Zunahme noch geringer, und 4 mm. mittleren Pupillendurchmessers ist für Emmetropen jedenfalls zu viel und kann höchstens als Norm für Myopen gelten!

Helmholtz hat nachgewiesen, dass ein normales Auge gleichzeitig in ∞ und 12 Meter Entfernung deutlich sehe. Das Bedürfniss einer Aenderung der Refraction würde also erst bei weniger als 12 m. oder beiläufig 6 Klafter Entfernung der Fixirobjecte beginnen, und für alle weiteren Fernen wäre das Auge lediglich durch seine Refraction eingestellt. Diess gilt für 4 mm. Pupillendurchmesser. Nehmen wir aber 3 mm. als Norm an, dann würde sich das Accommodationsbedürfniss sogar erst bei circa 10 m. oder 5 Klafter Entfernung ergeben. Jedenfalls müsste der Accommodationsmuskel schon beim Sehen in sehr mässige Distanzen völlig entspannt werden.

Dieser Gegenstand ist offenbar nicht allein von theoretischer, sondern auch von der grössten praktischen Bedeutung. Denn wenn die Accommodation bereits beim Sehen in 5 Klafter Entfernung zur Ruhe kommt, dann dürfen wir accommodativen Asthenopen gestatten, Objecte in dieser mässigen Entfernung, welche der Länge einer grösseren Stube und der Breite einer engeren Strasse ent-

spricht, zu dauernder Fixation zu wählen. Im Gegentheile wäre diess nicht zulässig.

Nun lehrt die Beobachtung, dass accommodative Asthenopie zurückgehe, wenn sich die Kranken z. B. am Lande aufhalten und nur ferne Objecte dauernder fixiren. Es ist damit freilich noch kein exacter Beweis dafür geliefert, dass die Accommodation in solchen Fällen auch wirklich völlig entspannt sei. Denn sie könnte auch bei Fixation über 5 Klafter Entfernung fortdauern, aber mit so geringen und abnehmenden Werthen, dass dieselben dem müdesten Auge nicht beschwerlich würden. Die Accommodationsquote berechnet sich nämlich z. B. bei 15 Klafter beiläufig mit $\frac{1}{2000}$, bei 30 Klafter mit $\frac{1}{4000}$ u. s. w. Diess sind nun allerdings sehr kleine Kraftquoten. Aber so gering sie auch sein mögen, so bedeuten sie immer noch Activitätszustände, und keine völlige Ruhe der Muskelthätigkeit.

Diese Betrachtungen beziehen sich wesentlich auf die monoculare Accommodation, nur bedingungsweise auch auf die binoculare. Löst nämlich jede Convergenzbewegung auch eine bestimmte Accommodationsquote aus, dann müsste, weil der parallaktische Winkel, welchen die beiden Blicklinien einschliessen, in weite Ferne hinaus einen nennenswerthen Grad behält, auch das Spiel der Accommodation weit über 5 Klafter hinaus fortdauern. Bei 22 Meter Entfernung beträgt z. B. die Parallaxe noch 10 Minuten, bei 110 Meter noch 2 Minuten. Aber für so weite Fernen ist die Giltigkeit des Connexus von Accommodation und Convergenz nicht wohl nachweisbar, und dürfte der bekanntlich an sich laxe Zusammenhang kaum über 12 Meter fortdauern.

Wie dem auch sei: *beim monocularen Sehen können lediglich die Zerstreuungskreise und ihr Missverhältniss zu den Seheinheiten der Netz-*

haut — den Zapfendurchmessern — das Bedürfniss einer Correction ergeben, demnach die Accommodation wachrufen, dieselbe auslösen.

Nehmen wir nun allgemein an, dass das normale Auge beim Sehen in eine gewisse Ferne in Bezug auf seine Accommodation ruhe, weil scharfe Bilder auf seiner Netzhaut zu Stande kommen: dann werden von allen relativ näheren Objecten Zerstreuungskreise daselbst entstehen, und das Auge muss, um diese zu corrigiren, durch den Accommodationsact relativ myopisch werden. Die Frage gilt daher allgemein: Welcher ist der höchste und niedrigste Grad accommodativer Myopie, in die sich das normale Auge zeitweilig und willkürlich zu versetzen vermag?

Als Massstab hiefür kann die Grösse der Zerstreuungskreise gelten, welche bestimmten wechselnden Entfernungen der Objecte bei gleichem Pupillendurchmesser und bei Accommodationsruhe entspricht. — Oder man kann hiefür die nothwendige Aenderung der Krümmungsradien der Linse; — oder die Aenderung der Brennweiten des Auges wählen. — Oder man wählt die Aenderung des Krümmungsradius eines idealen, reducirten Auges; — oder die Brennweiten idealer Hilfslinsen, welche sich das Auge bei der Accommodation gleichsam zulegt. — Oder man wählt endlich eine und die andere der conjugirten Vereinigungsweiten.

Welcher der angedeuteten Werthe empfiehlt sich nun vom theoretischen und praktischen Standpunkte als der beste und entsprechendste?

Wollen wir aus den Zerstreuungskreisen einen Massstab gewinnen, so müssen dieselben für einen mittleren Pupillendurchmesser und für eine mittlere Distanz der Iris von der Netzhaut aus den conjugirten Vereinigungsweiten tabellarisch berechnet werden.

rung der Pupille wird nämlich die Accommodation für alle Fernen ganz wesentlich entlastet, indem die Zerstreuungskreise sich vermindern. Die Entlastung beträgt für die Differenz von nur einem Millimeter des Pupillendurchmessers 25 Procent. Berechnet man die Differenz von 2 Millimetern, so ergibt sich sogar eine Entlastung von 50%. Diess sind offenbar Ziffern, welche nicht ignorirt werden dürfen, denn in der Regel verengert sich die Pupille beim Sehen in die Nähe, und es ist somit das Pupillenspiel ein Factor, welcher in die Accommodationsfunction constant tief regulirend eingreift.

Diess hat auch Jenen vorgeschwebt, welche, wie Haller, Morton u. A. der Ansicht waren, dass die Verengerung der Pupille zur Accommodation genüge. So weit dürfen wir nun freilich nicht gehen, die Accommodation durchaus auf das Pupillenspiel zurückzuführen. Denn wenn schon das Sehen durch das enge Loch eines Kartenblattes den Beweis liefert, dass für bedeutendere Nähe die Zerstreuungskreise immer noch einen merklichen Werth behalten, so geht diess auch aus den Gleichungen 1) und 3) z. B. für die Berechnung eines Pupillendurchmessers von 1 mm. hervor. Es sinkt nämlich das Accommodationsbedürfniss in diesem Falle zwar um die erhebliche Ziffer von 75%, aber 25% des Bedürfnisses bleiben doch noch erhalten, und müssen sich bei Fixation naher Objecte geltend machen.

Wenn sich aus diesen Betrachtungen mit Bestimmtheit ergeben hat, welch wichtiger Factor die Iris beim Accommodationsacte sei, so wird offenbar die oculistische Praxis hierauf Rücksicht zu nehmen genöthigt sein. Die optischen Nachtheile aller jener Operationen, welche eine Verstümmelung der Iris bewirken, sind evident, und die methodisch ausgeführte Iridectomie bei der Staaroperation drückt den scientifischen und praktischen Werth dieser

Operation tief herab. Dagegen erklärt sich, warum bei Aphakie oder in Fällen von Accommodationsparalyse, wenn gleichzeitig ein intactes Pupillenspiel gestattet ist, doch durch Verminderung der Zerstreuungskreise scheinbare Accommodation zu Stande kommen könne. Auf diese Art dürfte sich der Streit über die Accommodation der Aphaken endlich erledigen.

Aus unserer Tabelle geht ferner hervor, dass die Accommodation (bei 4 mm. Normaldurchmesser der Pupille) zwischen den Zerstreuungskreisen von 0 und 4 mm. Diameter, von 0 bis auf $100\,^0/_0$ steige, was wieder zwischen den Werthen der Objectferne von ∞ und 20 mm. (letztere nach Donders'scher Annahme berechnet) liegt. Mit $100\,^0/_0$ ist noch nicht das Maximum d. i. ∞ der Einstellung erreicht. Die Anspruchnahme der Einstellungskraft müsste erst dann $= \infty$ werden, wenn das Object bis an den Cornealscheitel heranrückte, was im reducirten Auge einer Objectferne (nach Donders) von 5 mm. entspricht. Die Berechnung der Zerstreuungskreise lehrt daher, dass das accommodative Maximum erreicht sei, wenn das Fixirobject bis an den Cornealscheitel herankommt.

Zwischen ∞ und 12 Meter Objectsdistanz haben die Zerstreuungskreise so geringen Durchmesser, dass sie nicht in Widerspruch mit den Seheinheiten kommen, und desshalb muss die Accommodation, obgleich sie sich für diese Entfernung auf $\frac{1}{800}$ berechnet, doch innerhalb derselben ruhen, und kann erst ausgelöst werden, wenn die Fixirobjecte beiläufig auf 10 Meter genähert sind. Freilich können wir keinen positiven Nachweis über die Ferngrenzen liefern, bei welchen das Muskelspiel thatsächlich beginnt. Aber die theoretischen dürften hinreichen, um fortan den für die Praxis so äusserst wichtigen Grundsatz festzuhalten: Der accommodative Fernpunkt des Emmetropen, das

Minimum der Accommodation liegt in 10 Meter Entfernung vom Auge.

Ich brauche wohl nicht erst zu betonen, dass die Ziffer von 10 m. bloss eine annähernde und abgerundete sei, welche selbst noch innerhalb des Gebietes normaler Zustände Schwankungen unterworfen sein muss. Aber keinesfalls wird sich das Gebiet der accommodativen Thätigkeit normaler Augen in viel weitere Fernen hinaus erstrecken, so dass wir den Grenzwerth von 10 m. immerhin als normalen statuiren können.

Die Berechnung der für bestimmte Einstellungen erforderlichen Linsencurven setzt zunächst voraus, dass mittlere Werthe dieser Curven bei Accommodationsruhe angenommen werden. Da ferner die vordere und hintere Linsenfläche ungleich sind, und bei der Curvenänderung sich auch die Dicke und selbst die Lage in gewissem Sinne ändert, complicirt sich die Rechnung.

Gewöhnlich geht man von der Annahme aus, dass bei Accommodationsruhe die vordere Fläche der Linse 10 mm., die hintere 6 mm. Halbmesser besitze. Helmholtz hat nun die Aenderung der vorderen Fläche bis auf 6 mm. und jene der hinteren auf 5·5 für die Augenaxe von 22·231 berechnet, und gefunden, dass ein solches Auge von ∞ auf 103·09 mm. einstellbar sei. Wüllner hat die Einstellung auf 155 mm. berechnet. Aber Berechnungen für zwischenliegende Entfernungen wurden bisher nicht durchgeführt, wohl wegen der Umständlichkeit der Sache, indem für jeden Fall vorerst die Aenderung der Hauptpunkte und Brennweiten der Linse, sodann jene der Hauptpunkte und Hauptbrennweiten des Auges zu berechnen wäre. Die Einstellung auf 5—6 Zoll, bis zu welcher die bisherigen Berechnungen gehen, bedeutet übrigens einen ganz willkürlichen Nahepunkt, dessen Werth selbst von dem durch

optometrische Bestimmungen gefundenen erreichbaren Maximum der Accommodation ziemlich weit absteht. Nimmt man die Krümmung der vorderen Linsenfläche mit 5 mm., jene der hinteren mit 5·3 mm. an, was gewiss gestattet ist, so reducirt sich die erste Hauptbrennweite auf 11·5 und die zweite auf 16·38. Es würde also der zweite Hauptbrennpunkt im accommodirten Auge 3·367 mm. vor der Netzhaut liegen, und das Object könnte in 70 mm. = $2\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung von der Hornhaut noch deutlich gesehen werden.

Ohne viel Schwierigkeit liesse sich die Berechnung auf Grund der bekannten Gleichungen noch für nähere Objectfernen durchführen, aber sie setzt immer eine willkürliche Annahme der Axenlänge des Auges voraus, so wie eine solche der optischen Constanten, und wird desshalb keine grössere Genauigkeit für die Bestimmung der Accommodation gewähren als andere Methoden.

Man ist schon desshalb lieber bei anderen Berechnungen von der Annahme eines reducirten Auges ausgegangen, welches mit dem schematischen nahe übereinstimmt, bei welchem abgerundete Zahlen und einfachere Gleichungen die Rechnung erleichtern und die Uebersicht klarer stellen. Setzen wir z. B. im reducirten Auge an Stelle des complicirten Refractionsapparates die einzige Trennungsfläche der Cornea und den einzigen Brechungsexponenten derselben, so gewinnen wir sehr einfache Ausdrücke auch für die Curvenänderung dieses Systems bei der Accommodation. Es ist nämlich

$$\frac{f_1\ (f_2 - r)}{f_2\ (f_1 + r)} \cdot n = 1$$

wobei n das Brechungsvermögen, r den Radius, f_1 die vordere, f_2 die hintere Vereinigungsweite des reducirten Auges bedeutet. Hieraus folgt

$$r = \frac{f_1\ f_2\ (n - 1)}{n\ f_1 + f_2}$$

Bleibt f_2 und n constant, so lässt sich r für jede Objectferne = f_1 berechnen. Nehmen wir f_2 = 20 mm. und n = 1·34, so ist

f_1		r
∞	. . .	5·074
3000	. . .	5·050
1000	. . .	5·000
100	. . .	4·415
50	. . .	3·908
40	. . .	3·695
30	. . .	3·388.

Also ändert sich der Radius des reducirten Auges um 1·686 mm., damit dasselbe von ∞ bis auf 30 mm. Objectsdistanz vom Scheitel der Cornea eingestellt werde. Nehmen wir n höher an, z. B. 1·5, so wird der Radius von ∞ bis auf 30 mm. Objectferne von 6·666 auf 4·651 mm. sich ändern. Die Differenz beträgt also 2·015 mm. und der aliquote Theil der Differenz bedeutet für jede Ferne den Werth der Accommodationsquote.

Noch viel leichter wird aber die Accommodationsquote gefunden, wenn man von der Curvenänderung des brechenden Systems unseres Auges ganz absieht, und als Ausdruck für die muskulare Function Brennweiten von Hilfslinsen wählt, welche sich das Auge gleichsam zulegt, um mit positiven von einer bestimmten Ferne in die Nähe, oder mit negativen von der Nähe in die Ferne einzustellen. Die ersteren bedeuten dann das Mass der Belastung, die zweiten jenes der Entlastung der Function.

Auf diesem, zuerst von Young vorgeschlagenen Principe beruht die Donders'sche Accommodationslehre, welche in den letzten Jahren so viel Anklang gefunden hat. Mit

Hilfslinsen, von Luft umgeben, lässt sich in der That leicht rechnen, und ein einfacher Ausdruck gewinnen. Donders hat die Sache ganz besonders fasslich gemacht, indem er die Zolllinse sofort als einheitliches Mass, von welchem auszugehen ist, proclamirte.

Bezeichnet A die Brennweite der Hilfslinse in Zollwerth, so ist mit dem reciproken Werthe derselben $\frac{1}{A}$ auch die Accommodationsquote bestimmt, vorausgesetzt dass die Accommodationsspannung bei 1 Zoll Objectsdistanz thatsächlich 100 Procent erreicht.

Aber über letztere Annahme ist Donders denn doch zu leicht hinweggegangen, und hat sie nicht genauer geprüft, weder an der Hand der Theorie noch Erfahrung.

Ich habe nun bereits an anderen Orten (Correspondenzbl. f. Böhmen. Decbr. 1874.) darauf hingedeutet, dass die Wahl der Zolllinse P. M. (rund = 27 mm.) als einheitliches Mass für die Werthe der Accommodation, d. i. die Zolllinse als Accommodationseinheit eine ganz willkürliche Ziffer bedeute, welche keinem der in der physiologischen Optik bisher angenommenen oder gefundenen Werthe für die optischen Constanten entspricht. Von der Accommodationseinheit hängen aber wesentlich alle Ziffern ab, und ihre Normirung ist daher von ganz besonderer Wichtigkeit. Gründe der Bequemlichkeit bei den Berechnungen können hier nicht massgebend sein. Je kleiner die Einheit des Masses, desto geringer fällt auch die Accommodationsquote für verschiedene Objectfernen aus und umgekehrt.

Die Zolllinse ist, abgesehen davon, dass sie sich in das Decimalsystem nicht wohl einfügt, und mit keiner optischen Constante correspondirt, offenbar ein viel zu grosser Massstab, und muthet dem Auge daher in Bezug auf die accommodative Muskelthätigkeit viel zu viel zu.

Sie ist ferner in verschiedenen Ländern verschieden gross, und wird schon desshalb das Zollmass immer mehr von dem Metermasse verdrängt.

Aus der Gleichung für die conjugirten Vereinigungsweiten 2) Seite 8 lässt sich deduciren, dass als einheitliches Mass der Accommodation am besten eine Linse von 15 mm. Brennweite gewählt werden könne, welche gleich der vorderen Brennweite F_1 des reducirten Auges ist. Es ist nämlich der Quotient von $\frac{F_1}{l_1}$ wobei l_1 wie oben die Entfernung des Objectes von der vorderen Brennebene bedeutet, gleich der Accommodationsquote Aq, also

$$Aq = \frac{F_1}{l_1}$$

Daraus ergibt sich, dass die Accommodation Null werde, wenn $l_1 = \infty$, und ∞, wenn $l_1 = 0$. Aber Aq wird $= 1$, das ist 100%, wenn $l_1 = 15$. Diess sind positive Werthe. Wenn dagegen das Object gleichsam hinter die vordere Brennebene fällt, dann werden sowohl l_1 als Aq negativ. Wird F_1 als Einheit betrachtet, dann kann man schreiben $Aq = \frac{1}{x}$, wobei x Vielfache von F_1 bedeutet, und daher Zähler und Nenner mit F_1 zu multipliciren sind, um den Werth von Aq in Millimetern auszudrücken. Z. B.

$$Aq = \frac{1}{3} = \frac{15}{45} = 33\%.$$

Es lässt sich also die Accommodationsbreite ganz ebenso wie nach Donders' Vorschlage ausdrücken, nur ist die Donders'sche Einheit = 27 mm. und die unsere = 15 mm. Ferner ist der Anfangspunkt der Donders'schen Accommodationsbreite im Knotenpunkte, jener der unseren dagegen 20 mm. vor dem Knotenpunkte, im vorderen Brennpunkt zu suchen, daher die Objectferne l_1 nach meinem Vorschlage

bloss bis 15 mm. vor dem Cornealscheitel reicht. Diess dürfte den thatsächlichen Verhältnissen mit Rücksicht auf den Accommodationsvorgang mehr entsprechen, als nach Donders geschieht.

Will man die Donders'sche Accommodationsbreite in unsere und umgekehrt umwandeln, so kann man sich sehr einfacher Reductionsgleichungen bedienen. Bezeichnen wir die Accommodation nämlich nach Donders mit A und nach meinem Vorschlage mit A_1, so ist

$$\frac{1}{A} = \frac{27}{15\ A_1 + 20} \text{ und } \frac{1}{A_1} = \frac{15}{27\ A - 20}$$

Hat man also z. B. die Accommodationsbreite nach Donders in Zollen mit $\frac{1}{3}$ berechnet, so ist die Accommodationsbreite nach meiner Annahme

$$\frac{1}{A_1} = \frac{15}{(27 \times 3) - 20} = \frac{15}{61} = \frac{1}{4 \cdot 06}$$

Hier folgt eine Tabelle, in welcher die Unterschiede, welche sich zwischen der Donders'schen und meiner Auffassung für das Accommodationsvermögen ergeben, an einer Reihe von Beispielen anschaulich gemacht sind.

$\frac{1}{A}$		$\frac{1}{A_1}$
1	entspricht	2·142
$\frac{1}{1 \cdot 296}$	"	1
$\frac{1}{2}$	"	$\frac{1}{2 \cdot 266}$
$\frac{1}{3}$	"	$\frac{1}{4 \cdot 06}$
$\frac{1}{4}$	"	$\frac{1}{5 \cdot 86}$
$\frac{1}{5}$	"	$\frac{1}{7 \cdot 6}$

$\frac{1}{A}$		$\frac{1}{A_1}$
$\frac{1}{6}$	entspricht	$\frac{1}{9{\cdot}4}$
$\frac{1}{8}$	"	$\frac{1}{13}$
$\frac{1}{10}$	"	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{100}$	"	$\frac{1}{178}$
$\frac{1}{371}$	"	$\frac{1}{666}$

Man sieht daraus, dass nach unserer Annahme die Anspruchnahme der Accommodation des Auges für die Ferne bis unter 2 Zoll allgemein geringer sei, als nach Donders, und es vermindert sich diese Anspruchnahme sehr bedeutend mit dem Wachsen der Entfernungen. Es ist also durchaus nicht gleichgiltig, welche Accommodationseinheit festgestellt wird, denn die Differenzen der Accommodationsbreiten wachsen schon bei geringen Unterschieden der gewählten Einheiten mit der Entfernung der Fixirobjecte ganz ausserordentlich!

Die voranstehende Tabelle der Accommodationsbreite ruht auf der bisher giltigen Voraussetzung, dass das Accommodationsvermögen bis in unendliche Entfernung fortdauere. Nun wurde jedoch oben erörtert, dass der accommodative Fernpunkt beiläufig in 10 Meter Entfernung zu suchen sei. Unter diesen Verhältnissen wird es nöthig sein, die gefundenen Ziffern einer Correctur zu unterwerfen. Da nämlich der Entfernung von 10 Metern eine Accommodationsbreite von $\frac{1}{666}$ entspricht, wäre von jedem der berechneten Werthe $\frac{1}{666}$ abzuziehen, um die wahre Accommodationsbreite zu finden.

Hat z. B. ein Emmetrope den Nahpunkt in 60 mm. vor der Cornea, also 45 vor der vorderen Brennebene, was 3 Einheiten nach unserer Annahme entspricht, so ist der accommodative Fernpunkt in 10 m. Entfernung, d. i. 666 Einheiten oder Moduls, und der accommodative Nahpunkt befindet sich in 3 Modul Entfernung; also ist die Accommodationsbreite

$$\frac{1}{3} - \frac{1}{666} = \frac{1}{3{\cdot}013}$$

Der Fehler ist daher sehr klein, und ergibt sich erst in der zweiten Decimalstelle, so dass er bei der Berechnung für emmetropische Augen immerhin vernachlässigt werden kann. Freilich darf diess bei Presbyopie nicht geschehen. Bei Myopie und Hyperopie ergeben sich Aenderungen der refractorischen und accommodativen Grenzpunkte, welche selbstverständlich für jeden Fall von Ametropie in die Berechnung der Accommodationsbreite einbezogen werden müssen.

Der Accommodationsvorgang lässt sich nach unseren Voraussetzungen auch graphisch darstellen durch die Kegelschnittslinie einer Hyperbel, wie diess zuerst Scheffler (Die Theorie der Augenfehler. Wien 1868.) gethan hat. Scheffler nannte die so zu Stande kommende krumme Linie „Bedürfnisscurve der Accommodation, welche sich als eine gleichseitige Hyperbel präsentirt.“ Doch hat er die numerischen Werthe nicht festgestellt. Auch war er durch die Donders'sche Zolllinse befangen, und drückt sich ganz unklar folgend aus:

„Da für ein normales Auge die Brennweite seiner Axenlänge gleich, also etwa 1 Zoll ist, so leuchtet ein, dass der Anfangspunkt der Coordinaten ganz nahe vor dem Auge liegt.“

Die Axenlänge des Auges ist aber niemals etwa 1 Zoll,

sondern immer kleiner, im grössten Zollmass, dem pariser, sogar um die für solche Betrachtungen sehr belangreiche Ziffer von 7 Millimeter. Auch spricht sich Scheffler über die Brennweite des Auges nicht bestimmt aus. Es wird wohl die hintere des reducirten Auges gemeint sein, welche der Axenlänge gleich ist. Aber der Anfangspunkt der Coordinaten kann, wenn man der Donders'schen Auffassung der Verhältnisse folgt, niemals um die Axenlänge des Auges vor demselben liegen. Denn es ist die Donders'sche Accommodationsbreite offenbar

$$\frac{1}{A} = \frac{27}{f_1 + r}$$

wobei f_1 die Entfernung des Objectes von der Cornea, r den Radius der Cornea bedeutet, indem ja Donders die Entfernung der Objecte bis zum Knotenpunkte zählt. Es müsste der Anfangspunkt der Coordinaten daher nicht „ganz nahe vor dem Auge" liegen, sondern im Knotenpunkte, also im Binnenraume des Auges, was, wie bereits erwähnt, ein entschiedener Widerspruch ist, indem es voraussetzt, dass $Aq = \infty$ werde, d. h. das Maximum erreiche, wenn $f_1 = -5$. Die Accommodation kann niemals einen positiven Werth behalten, wenn f_1 negativ wird.

Es wäre allenfalls zulässig, den Anfangspunkt der Coordinaten in den Scheitelpunkt der Cornea zu verlegen, und die Accommodationsquote durch $\frac{F_1}{f_1}$ oder $\frac{F_2}{f_1}$ auszudrücken. In beiden Fällen würde $Aq = \infty$, wenn $f_1 = 0$ wird, und behielte also bis zum Heranrücken des Fixirobjectes an die Cornea immer einen positiven Werth. Ebenso könnte man $Aq = \frac{F_2}{l_1}$ wählen, wobei $Aq = \infty$ würde, wenn $l_1 = 0$; ein Fall ähnlich dem von mir vorgeschlagenen, nur mit dem Unterschiede, dass die Accom-

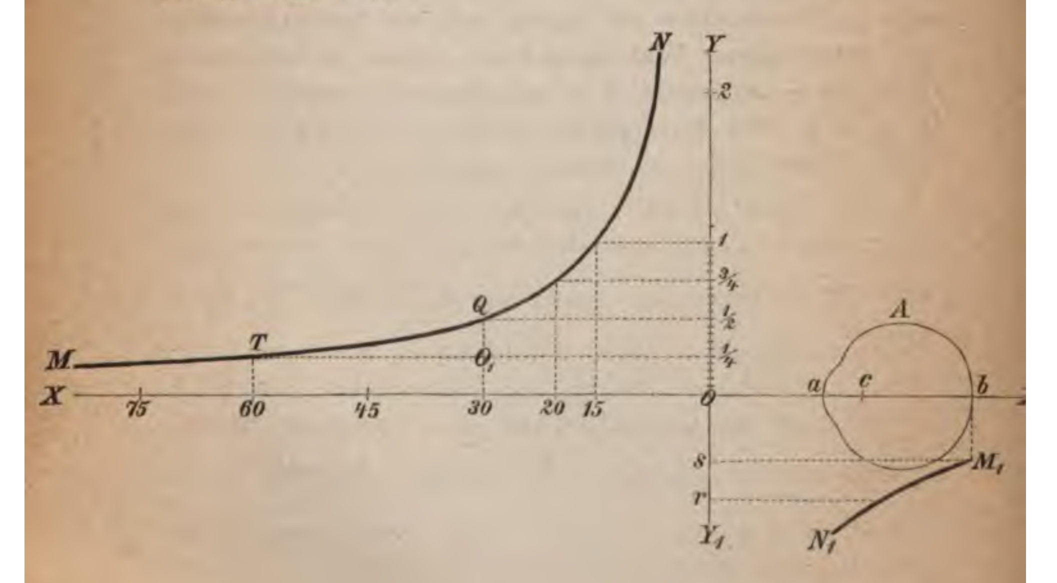
modationseinheit nicht 15 mm., sondern 20 mm. betragen würde. Wählt man aber 20 mm. als Accommodationseinheit, dann muthet man dem Auge mehr zu, als mit dem Modul von 15 mm.

Ich ziehe daher die Gleichung

$$Aq = \frac{F_1}{l_1} = \frac{l_2}{F_2}$$

vor, weil sie der Beobachtung, dem experimentell eruirten Nahepunkt, und den durch Rechnung zu ermittelnden Linsencurven bei der stärksten Accommodation näher kommt als alle anderen Formeln, die Donders'sche eingeschlossen, wenngleich auch durch meinen Vorschlag dem Auge theoretisch immer noch mehr zugemuthet wird, als es thatsächlich leistet.

In beistehender Figur ist nun ein Stück der Bedürfnisscurve der Accommodation auf Grundlage obiger Gleichung dargestellt.



In A befindet sich das reducirte Auge, dessen Cornealscheitel a, und dessen Knotenpunkt c ist. Die Blicklinie fällt mit der horizontalen Asymptote XX_1 zusammen. Das Asymptotenkreuz ist XX_1 und YY_1, der Nullpunkt der Asymptoten fällt mit dem vorderen Brennpunkt O zusammen, aO ist also = 15 mm. Die Linie XO bedeutet den Werth von l_1, der Accommodationslänge, und YO jenen von l_2, der Accommodationsbreite. Das Mass, die Einheit der Accommodationslänge ist F_1 = 15 mm., jenes der Accommodationsbreite ist F_2 = 20 mm. Der positive Hyperbelast MN ist der graphische Ausdruck für die positive Accommodationscurve, und $M_1 N_1$, ein Abschnitt des negativen Hyperbelastes, der negativen Accommodationscurve. Die Zeichnung illustrirt bloss Abschnitte der Hyperbel und zwar geht die horizontale positive Asymptote bloss bis nahe 75 mm. und die senkrechte bis nahe 45 mm. Selbstverständlich müssen sowohl die Hyperbeläste als Asymptoten ins Unendliche verlängert gedacht werden, und werden dann dadurch ideale Verhältnisse der Emmetropie repräsentirt. Denn gewöhnlich befindet sich bei Emmetropen weder der accommodative Fernpunkt in ∞, noch der accommodative Nahpunkt im Nullpunkt des Asymptotenkreuzes, sondern letzterer 30—60 mm. vor demselben. Die Abscisse XX_1 wird also gewöhnlich von der Ordinate YY_1 vor dem Punkte O durchschnitten und die Bedürfnisscurve reicht bloss bis zu dem Punkte T oder Q, d. h. die Accommodationsbreite beträgt bloss $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$, wobei, wie oben erwähnt, von diesen Werthen noch $\frac{1}{666}$ in Abzug zu bringen wäre. Um diesen geringen aliquoten Theil der Masseinheit von 20 m., welcher graphisch gar nicht ausdrückbar ist, weil er bloss 0·01—0·02 mm. beträgt, verschiebt sich nämlich die horizontale Asymptote nach aufwärts.

Auf der Linie YY_1 findet man, wenn man vom Nah- und Fernpunkte des positiven oder negativen Hyperbelastes Senkrechte darauf fallen lässt, in allen Fällen den graphischen Ausdruck für die Accommodationsbreite. Es bedeuten nämlich 20 mm. auf der Linie YY_1 100% der Accommodation. Reicht die Accommodation z. B. auf der Linie MN von T bis Q, also in der Richtung der Blicklinie von 60—30 mm., so werden auf der Asymptote YY_1 genau 5 mm. durch Projection abgeschnitten. Die Accommodationsbreite beträgt also $\frac{5}{20} = \frac{1}{4} = 25$ Procent.

Dasselbe gilt bezüglich des negativen Hyperbelastes $M_1 N_1$, wo die Projection sr auf der negativen Asymptote gleichfalls 5 mm. beträgt, daher den Ausdruck für $\frac{1}{4}$ Accommodationsbreite gibt. Das Auge ist nämlich in letzterem Falle zwar durch seine Refraction auf der ganzen Linie negativ eingestellt, aber die Accommodation kann doch dabei valide gedacht werden, und eine bestimmte Accommodationsbreite vorhanden sein (absolute Hyperopie).

Man sieht daraus, dass die graphische Methode nicht allein normale, sondern sämmtliche Fälle von Ametropie, sowohl Refractions- als Accommodationsfehler zu illustriren geeignet sei. Immer wird durch die Lage des Asymptotenkreuzes der Refractionszustand, und durch die zugehörige Strecke des Hyperbelastes die Accommodation dargestellt. Für Myopie rückt die horizontale Asymptote nach aufwärts, z. B. für Myopie $\frac{1}{4}$ (Donders $\frac{1}{8}$) schneidet sie die Bedürfnisscurve in T, welcher Punkt sodann den Fernpunkt bedeutet. Ist der Nahepunkt für diesen Fall in Q, so wird die Ordinate YY_1 diesen Punkt durchschneiden. Der Durchschnittspunkt der Coordinaten rückt dann nach O_1 vor, und die Accommodationsbreite ist $\frac{1}{4} - \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$. — Bei Hyperopie

sinkt die horizontale Linie und rückt zugleich je nach dem Grade die senkrechte Linie nach links von O ab. So lange sie (bis ∞) noch den positiven Hyperbelast durchschneidet, bleibt der Nahpunkt positiv; im Gegentheile wird er negativ (absolute Hyperopie).

Das Accommodationsvermögen kann in allen diesen Fällen erhalten sein, und nur wenn die Muskelthätigkeit sinkt, verändert sich oder erlischt auch die Accommodationsbreite. Die graphische Bedürfnisscurve und ihre Projection fällt dann gänzlich oder theilweise aus, und die noch erhaltene Refraction ist dann durch die Lage des Asymptotenkreuzes bestimmt.

Accommodation und physiologischer Leistung fähige Refraction sind also, theoretisch aufgefasst, zwei ganz differente Functionen. Wir müssen somit auch die Grenzen jeder für sich bestimmen.

Der ideale refractorische Fernpunkt des Emmetropen liegt in unendlicher Ferne. Der refractorische Nahpunkt wird durch die Grösse der Seheinheiten der Netzhaut, durch den Diameter der Pupille und die demselben entsprechenden Zerstreuungskreise bestimmt. Nehmen wir die Seheinheiten mit 0·005 mm. an, so muss für den Diameter der Pupille von 4 mm. der refractorische Nahpunkt beiläufig in 12 Meter Entfernung vom Auge, für 3 mm. Diameter in 10 Meter liegen. Diese letzteren, allerdings mit dem Pupillenspiel einigermassen wechselnden Werthe bestimmen zugleich die Lage des accommodativen Fernpunctes. Denn die Accommodation beginnt erst dann, wenn die Zerstreuungskreise grösser als 0·005 mm. werden. Der accommodative Nahpunkt (das Maximum) liegt in der vorderen Brennebene, und die Accommodationseinheit (100 Procent) ist erreicht, wenn das Object 15 mm. vor dieser Ebene

liegt. Jede dieser Functionen kann für sich fehlerhaft sein, oder auch beide zusammen.

Myopie und Hyperopie sind lediglich refractorische Anomalien; die Accommodation kann dabei ursprünglich ganz fehlerlos sein. Aber ihre Aufgaben werden durch jeden Refractionsfehler geändert, indem sich nothwendig mit der Verschiebung des refractorischen Nahpunktes auch die Lage des accommodativen Fernpunktes verschiebt. Schon diess muss die Leistung der Accommodation ändern, und das Streben, die volle physiologisch geforderte Leistung durch erhöhte Anspruchnahme der accommodativen Muskelkraft zu Stande zu bringen, wird schliesslich wahre Fehler der Muskelthätigkeit, Krampf oder Lähmung herbeiführen können und müssen.

Der Zusammenhang von Accommodation und Refraction ist also im normalen Zustande stets ein sehr inniger. Eine unterstützt die andere. Wo die eine in Bezug auf physiologische Leistung aufhört, beginnt die andere. Aber ebendesshalb müssen beide in Bezug auf Nah- und Fernpunkte strenger, als diess bisher betont worden ist, geschieden werden. Denn offenbar muss im normalen Auge der refractorische Nahepunkt mit dem accommodativen Fernpunkt zusammenfallen; sie können und dürfen nicht auseinanderliegen. Dasselbe wird auch bei allen jenen Refractionsfehlern der Fall sein, wo der refractorische Nahpunkt überhaupt noch einen positiven Werth hat. Denn wenn z. B. bei Myopie der refractorische Fern- und Nahpunkt näher am Auge liegt als 10 Meter, so wird selbstverständlich auch der accommodative Fernpunkt sich dem Auge nähern. Umgekehrt bei relativer Hyperopie. Dagegen muss bei absoluter Hyperopie der innige Zusammenhang von Accommodation und Refraction gelöst werden, weil es gar keinen positiven Nahpunkt der Refraction

mehr gibt, und die muskulare Thätigkeit daher im grenzenlosen Raume spielt. Da ihr die Anregung fehlt, oder diese gesetzlos ist, und daher ein Genügen ganz unmöglich wird, muss die Accommodation schliesslich ausser Spiel gerathen, sich involviren, Null werden.

Die erörterte Auffassung der Grenzwerthe der Accommodation und Refraction kann offenbar nicht ohne Einfluss auf die Lehre von den Brillen sein. Die im Handel vorkommenden Brillenetuis enthalten eine Serie von sphärischen Gläsern, deren Brennweiten sehr unregelmässig fortschreiten. Es sind desshalb in den letzten 10 Jahren mehrfache Versuche gemacht worden, eine andere und bessere Ordnung der Brillennummern herzustellen, ohne dass diess bisher zu allseitiger Befriedigung gelungen wäre. Nachdem Burow, Giraud-Teulon, Zehender, Nagel, Javal u. A. bezügliche Vorschläge gemacht hatten, wurde 1867 auf der pariser Oculistenversammlung eine Commission gewählt, um den Gegenstand zu erledigen. Aber auch diese ging resultatlos auseinander, da die principiellen Differenzen der Auffassungen ihrer Mitglieder einen Ausgleich nicht aufkommen liessen. Selbst der letzte Versuch von Nagel, bei der Heidelberger Versammlung im September 1874 mit seinem Vorschlage durchzudringen, ist abgeschlagen worden.

So ist es daher bisher beim Alten geblieben, ja es macht sich sogar neuerlich die Ansicht geltend, dass eine Reform des Brillenkastens gar nicht nothwendig sei, indem die principienlose Reihenfolge der Brillennummern bereits eingebürgert sei, und in der Praxis keine fühlbaren Nachtheile mit sich führe.

In der That reichen wir in der Praxis mit dem käuflichen Brillenvorrathe nothdürftig aus. Aber schon die

Numerirung der Gläser nach Zollmass ist veraltet und nicht ganz verlässlich, weil dieses Mass nicht in allen Ländern gleich ist, und weil das Bedürfniss allenthalben in der scientifischen Welt vorliegt, ein allgemein giltiges, das Metermass dem Zollmasse zu substituiren. Auch ist die Zolleinheit für kurze Brillenbrennweiten zu gross, so dass man genöthigt war, sie in die Hälfte, sogar in Viertel zu theilen, wodurch der Werth der Einheit illusorisch wird.

Freilich sind die Refractionsfehler überhaupt an gar keine der bestehenden Masseinheiten gebunden, und es kommen solche von $\frac{1}{200}$ bis $\frac{1}{2}$ in allen Graden zu corrigiren. Nur sind bei den niederen Graden von Ametropie grössere Licenzen, also grössere Differenzen zwischen der geforderten Neutralisation und der annähernd passenden Brillennummer gestattet als bei den höheren Graden, indem die Differenzen noch durch wechselnden Abstand des Glases vom Auge ausgeglichen werden können. Bei den höheren Graden dagegen, z. B. jenen zwischen $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{2}$ sollte die Correction immer vollständiger sein, je mehr sich die Ametropie dem Werthe von $\frac{1}{2}$ nähert. Desshalb müssen gegen diesen Grenzpunkt hin die Intervalle der Brillenbrennweiten auch immer kleiner werden.

Im Brillenkasten schreiten nun thatsächlich die Nummern diesem Bedürfnisse nahezu entsprechend vor. Aber die Refractionsintervalle sind unter allen Umständen sehr unregelmässig, und haben daher mit Recht Anstoss erregt. Weil jedoch bei gleichem Intervall die Lücken in den schwächeren Brillennummern allgemein zu gross, und bei den stärkeren für das Bedürfniss der Praxis zu klein werden, indem sich durch letztere der Umfang des Brilletui sehr erweitern müsste: so war man genöthigt, von dem gleichen Intervall abzugehen. Auch konnte man sich über die zu wählende Refractionseinheit bisher nicht verständi-

gen, und es wurden die differentesten Vorschläge gemacht: Multipla von 58, 30, 27, 26, 13, 10 mm., nämlich 18 Fuss, 3 Meter, 96 Zoll, 96 Zoll, 1 Meter, 48 Zoll, 24 Zoll u. s. w. Merkwürdigerweise hat man bei allen diesen Vorschlägen — so viel mir bekannt — ganz ausser Acht gelassen, eine Refractionseinheit zu wählen, welche mit irgend einer der optischen Constanten correspondirt, wodurch sich der ganze Gegenstand viel besser in die physiologischen Verhältnisse des Auges eingefügt hätte, als wenn man lediglich immer bei der Frage beharrt, ob das Zoll- oder Metermass zu wählen sei, und ob man die Eintheilung nach Halben und Vierteln oder nach Zehnteln wählen solle, ob nach 1, 2, 3 Meter, und ob z. B. die 3 das System „verunreinige" u. a. m.

Die Erfahrung lehrt, dass Brillenbrennweiten, positive und negative, von 100 Zoll (rund 2700 mm.) ziemlich die schwächsten sind, welche noch eine merkbare Correction von Zerstreuungskreisen hervorbringen. Wählt man 3000 mm., also beiläufig 112 Zoll Brennweite, so ist wohl dem schwächsten Correctionsglase Genüge gethan. Dieser Werth der Objectferne l_1 entspricht der Bildweite l_2 von 0·1 mm. und dem Zerstreuungskreise von 0·019 mm. Die zugehörige Accommodationsquote beträgt beiläufig 0·5 % $= \frac{1}{200}$. Halten wir nun fest, dass, wie ich oben vorgeschlagen habe,

$$Aq = \frac{F_1}{l_1}$$

Nehmen wir ferner, was nicht nur ohne Fehler geschehen kann, sondern sogar optisch gefordert ist, an, dass das Brillenglas stets 15 mm. vor dem Hauptpunkte stehe, dann bedeutet in der Gleichung

$$l_1 = \frac{F_1}{Aq}$$

l_1 die Brennweite des Correctionsglases, und es lassen sich also mit Hilfe des Moduls von 15 mm. als Einheit und bestimmter Accommodationsquoten Serien von Brillen berechnen, welche entweder nach ganz gleichen Accommodationsintervallen fortschreiten, oder nach Multiplen derselben. — Oder man wählt lediglich den Modul von 15 mm., um eine dem Bedürfnisse entsprechende Scala herzustellen, bei welcher in den schwächeren Nummern Multipla des Moduls das Intervall bilden, und bei den stärkeren die Intervalle sich verengern.

Will man z. B. Linsen berechnen, welche einem gleichen Accommodationsintervall entsprechend fortschreiten, und wählt jenes von $1\frac{0}{0}$, so haben wir folgende Scala:

N. 1 mit $\frac{F_1}{0{\cdot}01} = \frac{1500}{1} = 1500$

N. 2 „ $\frac{F_1}{0{\cdot}02} = \frac{1500}{2} = 750$

N. 3 „ $\frac{F_1}{0{\cdot}03} = \frac{1500}{3} = 500$

N. 4 375
N. 5 300
N. 6 250
N. 7 . . . . 214·5
N. 8 . . . . 187·5
N. 9 . . . . 166·6
N. 10 150
N. 15 100
N. 30 50
N. 150 . . . . 10 u. s. w.

Fände man die Lücken zwischen den einzelnen Gläsern oben zu gross, so könnte man das kleinere Intervall von $\frac{1}{2}\frac{0}{0}$ wählen. Dagegen müsste man für die schärferen Gläser, um ihre Zahl nicht übermässig zu vermehren, wie-

der viel grössere Accommodationsintervalle in die Rechnung einführen.

Immer wird man also auch in dieser so wie in jeder anderen Scala Aenderungen der Intervalle bei den stärkeren oder schwächeren Nummern vorzunehmen genöthigt sein.

Desshalb kommt man jedenfalls wieder darauf zurück, ganz vorzüglich dem praktischen Bedürfnisse Rechnung zu tragen, und doch dabei irgend einen Modul in der Brillenscala festzuhalten, welcher ein anschauliches Bild der refractorischen Veränderungen gibt, die beim Gebrauche dieser wichtigen optischen Hilfsmittel sich geltend machen.

Von diesen Gesichtspunkten geleitet, habe ich auf der Grundlage des Moduls von 15 mm. = F_1 eine Scala von Brillen entworfen, von denen 1—20 genau nach dem Intervall von 15 mm. fortschreiten, 21—25 nach jenem von 2 Modul = 30 mm., ferner 26—29 nach 5 Modul = 75 mm. und 30—44 nach 10 Modul = 150 mm. Diese Scala weicht im Grossen und Ganzen nicht wesentlich von jener des käuflichen Brillenkastens ab, aber sie hat in den mittleren Nummern von 8—16, welche am häufigsten gebraucht werden, mehr Nummern, und ebenso in den schwächeren über 40 Zoll hinaus. Beides dürfte von einigem Werthe sein, da namentlich Refractionsfehler, denen Brillen von über 40 Zoll entsprechen, thatsächlich sehr häufig sind, dem Fortschritte solcher Fehler in der Kindheit durch Neutralisation begegnet und so manche Gefahr secundärer Erscheinungen, wie Strabismus etc. beseitigt werden kann. Im käuflichen Brillenkasten kommen aber bloss die Nummern 50, 60, 80 vor. In unserer Scala sind dagegen repräsentirt (annähernd) 44, 50, 55, 61, 66, 72, 77, 83, 90, 95, 100, 105, 111. Diess scheint allerdings des Guten etwas zu viel sein, und es liessen sich allenfalls die Nummern

83, 95, 105 eliminiren, vielleicht auch die Nummer 66, so dass die Zahl der Brillennummern im Ganzen bloss 40 betrüge. Aber die Raumersparniss darf keinesfalls bei der Aufstellung von Brillenscalen allein massgebend sein.

Doch ich lasse die Tabelle für sich selbst sprechen, ohne — mit Rücksicht auf die bisherigen wenig glücklichen Versuche einer Reform des Brillenkastens — meinen Vorschlag emphatisch urgiren zu wollen. Wir müssen es ja doch der Gewalt der Zeit und des praktischen Bedürfnisses überlassen, die alte Brillenserie endlich zum Falle zu bringen. Jeder Vorschlag, welcher sich dem Bedürfnisse anschmiegt, und sich doch dabei auf festen theoretischen Grundsätzen aufbaut, wird aber geeignet sein, die volle Reife der Sache mit zu fördern.

Zum Verständniss der Tabelle sei noch folgendes bemerkt: Die erste Columne enthält die fortlaufenden Brillennummern von den stärksten zu den schwächsten aufsteigend, und verzeichnet die allerdings ziemlich bedeutende Zahl von 44 Nummern, von denen jedoch in einem Etui, das zu genauerer Neutralisation der Ametropie als bisher dienen soll, keine als völlig unbrauchbar bezeichnet werden kann. — Die zweite Columne verzeichnet die Brennweite der Brillengläser in Millimetern. Beigefügt ist das Intervall. Die dritte Columne enthält den Zollwerth der Brennweiten, wobei 27 mm. = 1 Zoll angenommen wurde. Die vierte Columne verzeichnet die zu jeder Brillennummer gehörige Accommodationsquote, wobei die Einheit mit 15 mm. angenommen ist. Endlich enthält die fünfte Columne die zugehörige Accommodation in Procenten, und geht in der Scala die Accommodationsspannung von 100 Procent bis zu $\frac{1}{2}$ Procent.

N.	Brennweite in mm.		Brennweite in Zoll	$\frac{F_1}{l_1}$	Procente der Accommod.
1	15	Intervall von 15 Millimetern	0·55	1 : 1	100
2	30		1·1	1 : 2	50
3	45		1·6	1 : 3	33
4	60		2·2	1 : 4	25
5	75		2·7	1 : 5	20
6	90		3·3	1 : 6	16·6
7	105		3·8	1 : 7	14·2
8	120		4·4	1 : 8	12·5
9	135		5	1 : 9	11·1
10	150		5·5	1 : 10	10
11	165		6·1	1 : 11	9
12	180		6·6	1 : 12	8·3
13	195		7·2	1 : 13	7·6
14	210		7·7	1 : 14	7·1
15	225		8·3	1 : 15	6·6
16	240		8·8	1 : 16	6·2
17	255		9·4	1 : 17	5·8
18	270		10	1 : 18	5·5
19	285		10·5	1 : 19	5·2
20	300		11·1	1 : 20	5
21	330	Interv. v. 30 mm.	12·2	1 : 22	4·5
22	360		13·3	1 : 24	4·1
23	390		14·4	1 : 26	3·8
24	420		15·5	1 : 28	3·5
25	450		16,6	1 : 30	3·3
26	525	Interv. v 75 mm.	19·4	1 : 35	2·8
27	600		22·2	1 : 40	2·5
28	675		25	1 : 45	2·2
29	750		27·7	1 : 50	2
30	900	Intervall von 150 Millimetern	33·3	1 : 60	1·5
31	1050		38·8	1 : 70	1·3
32	1200		44·4	1 : 80	1·2
33	1350		50	1 : 90	1·1
34	1500		55·5	1 : 100	1
35	1650		61·1	1 : 110	0·9
36	1800		66·6	1 : 120	0·83
37	1950		72·2	1 : 130	0·76
38	2100		77·7	1 : 140	0·71
39	2250		83	1 : 150	0·66
40	2400		89	1 : 160	0·62
41	2550		94·4	1 : 170	0·58
42	2700		100	1 : 180	0·55
43	2850		105	1 : 190	0·52
44	3000		111	1 : 200	0·5

4

Das

MITTLERE AUGE

in seinen

physiologischen und pathologischen Beziehungen.

Von

Prof. v. Hasner.

PRAG 1879.

J. G. CALVE'SCHE K. K. HOF- UND UNIV.-BUCHHANDLUNG

OTTOMAR BEYER.

Druck von Carl Bellmann in Prag.

VORWORT.

Ich gebe in diesen Zeilen Rechenschaft über meine Auffassung der practisch bedeutenderen Abschnitte aus der Lehre von der Dioptrik des Auges.

Der Kliniker befindet sich dieser Lehre gegenüber in einer eigenthümlichen Lage. Er hat die Aufgabe, schwierige mathematische Probleme möglichst elementar, bündig und verständlich zu behandeln. — Ich war immer der Meinung, dass es nicht räthlich sei, diesen Problemen ganz aus dem Wege zu gehen, oder sich auf eine constructive Darstellung derselben zu beschränken. Auch glaube ich, dass es nicht genüge, einige Formeln, von denen der Zuhörer nicht weiss, woher sie kommen, noch wohin sie zielen, ins Feld zu führen, da diess eher geeignet ist, abzuschrecken, als fördernd anzuregen. — Es ist freilich kaum ein Vierteljahrhundert her, dass man angefangen hat, die Ophthalmologie auch mathematisch zu behandeln, und das Ringen nach der besten Methode dieser Behandlung zu practischen Zwecken ist noch nicht abgeschlossen, ja man kann sagen, dass es kaum begonnen hat. Heute wird die mathematische Methode nur erst von einzelnen Klinikern gepflegt; manche derselben greifen zu hoch aus, und sind dadurch für Wenige verständlich. Die grosse Majorität vermeidet scheu lieber alles Rechnen, um nur nicht trocken und unverständlich zu werden.

Die Berechnung des Auges als Combination zweier optischer Systeme, einer Kugelfläche und einer Linse, und die Verwandlung derselben in eine sogenannte wandernde Kugelfläche, die Rechnung mit zwei Hauptpuncten und Knotenpuncten, ist umständlich und dem Anfänger schwer verständlich; und da die Prämissen in Betreff der Exponenten des Kammerwassers, Glaskörpers, der Linse, der Radien der Cornea und Linse, so wie der Abstände erheblich schwanken: so hat das sogenannte schematische Auge umsoweniger Anspruch auf practische Verwerthung, als es im Grunde ein stark reducirtes aphakisches Auge ist. Die Verwandlung der wandernden Trennungsfläche in eine fixe, nach dem Beispiele von Listing, genügt dem practischen Bedürfnisse auch nicht, weil hier Radius, Index und Dicke immer noch beträchtlich reducirt bleiben. — Nur durch Erhebung des Totalindex des Auges auf jenen des Glases ist es möglich, ein mittleres Auge aufzustellen, dessen Radius und Axenlänge sich den thatsächlichen Verhältnissen am meisten annähert, und eine fassliche elementare Darstellung der optischen Veränderungen gestattet.

Ich habe nun hier den Versuch gemacht, an dem mittleren Auge von $\frac{22,5}{15}$, sowol die physiologischen Gesetze der Emmetropie, als jene der Ametropie zu erörtern. Es wurde Alles elementar entwickelt, und an Beispielen ausgerechnet, so wie gezeigt, dass die Grundlehren der Dioptrik des Auges auf den einfachsten Lehrsätzen der Geometrie beruhen, und dass zum Verständniss derselben nicht mehr nöthig ist, als die Kenntniss rechtwinkliger Dreiecke, die Rechnung mit Brüchen und die aufmerksame Unterscheidung positiver und negativer Werthe. Im theoretischen Theile dürfte die Darstellung der vier Species der Brennweiten einigen Anspruch auf Beachtung haben. In Betreff der Ametropie glaubte ich die Index-, Krümmungs- und Axenfehler etwas schärfer als gewöhnlich auseinander halten

zu sollen. Manches über die Accommodation, Aphakie, das Brillenauge, Brillennumerirung, Astigmatismus, die ophthalmoskopische Untersuchung Gesagte habe ich bereits in verschiedenen publicistischen Organen erörtert. Hier erscheint jedoch Alles im Zusammenhange, und auf das mittlere Auge bezogen. — Die Vergrösserung im aufrechten Bilde wurde etwas ausführlicher abgehandelt, obgleich dieser Gegenstand mehr theoretische als practische Bedeutung hat. Da jedoch hierüber die Acten noch nicht völlig geschlossen sind, und die Sache denn doch in der That eine verschiedene Auffassung zulässt, so schien es mir räthlich, den Gang des Lichtes aus dem untersuchten Auge durch das Correctionsglas in das untersuchende Auge mit Umgehung der üblichen Verwandlung der Systeme an einer Reihe von Beispielen zu berechnen, indem ich glaube, dass die Verfolgung des Ganges der Lichtstralen durch die drei einzelnen Systeme der kürzeste Weg ist, um hier zu verlässlichen Resultaten zu gelangen.

Ich habe es immer als die wesentlichste Aufgabe meines klinischen Berufes betrachtet, dahin zu streben, durch bündige, leichtfassliche Darstellung verwickelterer Probleme, der Oculistik Freunde zu gewinnen. Die vorliegende Arbeit ist aus gleichem Streben hervorgegangen, und in diesem Sinne möge sie dem freundlichen Urtheile der Fachgenossen empfohlen sein.

Prag, 14. März 1879.

INHALT.

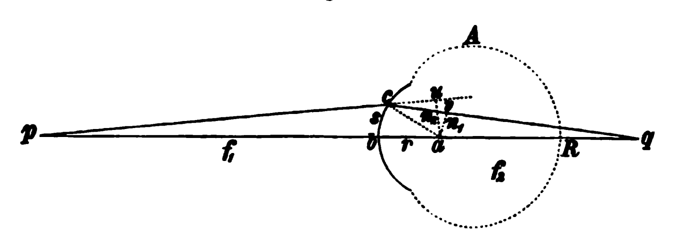
		Seite
1.	Das Grundgesetz der Lichtbrechung im Auge	1
2.	Die Bildweite	3
3.	Die Objectferne	4
4.	Die Brennweiten	5
5.	Brechkraft des Auges	7
6.	Berechnung des Radius aus der Grundgleichung	8
7.	Berechnung des Radius aus den Brennweiten	8
8.	Die vier Species der Brennweiten, Summe derselben	9
9.	Differenz der Brennweiten	10
10.	Quotient der Brennweiten	11
11.	Die Scheitelpunctsgleichung	11
12.	Das Product der Brennweiten	14
13.	Die Knotenpunctsgleichung	16
14.	Die Grenzen der Objectferne und Bildweite	16
15.	Grösse des Bildes	17
16.	Katoptrik der Hornhaut	19
17.	Gang des Lichtes im schematischen Auge	22
18.	Das reducirte und das mittlere Auge	25
19.	Die Refractionsfehler des Auges	30
20.	Die Krümmungsfehler des Auges	31
21.	Die Indexfehler	35
22.	Die Axenfehler	39
23.	Die Accommodation	45
24.	Die Grössenwerthe des Auges	55
25.	Die sphärische Brille	59
26.	Das emmetropische Brillenauge	64

Seite
27. Das axenmyopische Brillenauge 69
28. Das axenhyperope Brillenauge 73
29. Das krümmungsmyopische Brillenauge 76
30. Das krümmungshyperope Brillenauge 78
31. Das astigmatische Brillenauge 79
32. Aphakie 84
33. Numerirung der Brillengläser 87
34. Grösse der Retinalbilder bei der Accommodation 95
35. Grösse der Retinalbilder bei Axenmyopie 96
36. Grösse der Retinalbilder bei Axenhyperopie 97
37—38. Grösse der Retinalbilder bei Krümmungsfehlern 98
39—40. Grösse der Retinalbilder im Brillenauge 99
41. Ophthalmoskopische Vergrösserung im aufrechten Bilde bei Emmetropie 100
42. Ophthalmoskopische Vergrösserung im aufrechten Bilde bei Myopie . . 107
43. Ophthalmoskopische Vergrösserung im aufrechten Bilde bei Hyperopie . 111
44. Ophthalmoskopische Vergrösserung im umgekehrten Bilde 114

I. Das Gesetz der Brechung des Lichtes an einer Kugelfläche als Grundgesetz der Brechung im menschlichen Auge.



Fig. 1.



Wenn (Fig. 1) ein Lichtstral *pc*, von *p* ausgehend, sehr nahe der Axe *pbq* einer Kugelfläche $bc = s$, deren Krümmungsradius $ab = ac = r$ ist, in *c* auf diese Kugelfläche fällt, und die beiden Mittel vor und hinter der Trennungsfläche *bc* haben verschiedenes Brechungsvermögen, so geht der Stral *pc* nicht geradlinig nach *u* fort, sondern wird nach *cq* abgelenkt, und schneidet die Axe in *q*. Es ist dann *q* das Bild des Objectpunctes *p*, und umgekehrt *p* das Bild von *q*.

Lassen wir nun aus dem Krümmungsmittelpuncte *a* auf die Linien *pu* und *cq* Senkrechte fallen, und bezeichnen *au* mit n_2 und *av* mit n_1, ferner die Strecke *cb* der Trennungsfläche mit *s*, die Entfernung des Punctes *p* von der Trennungsfläche, also die Objectferne *pb* mit f_1, und die Entfernung des Bildpunctes *q* von der Trennungsfläche, also der Bildweite *bq* mit f_2: so haben wir, da unter der Voraussetzung sehr kleiner Winkel

in b und q die Linien cb, au und av sämmtlich parallel sind, die ähnlichen Dreiecke pbc und pau ebenso wie qbc und qav, deren Seiten in folgendem Verhältnisse stehen:

$$\frac{s}{n_2} = \frac{f_1}{f_1 + r} \text{ und } \frac{s}{n_1} = \frac{f_2}{f_2 - r}$$

Es ist also $s = \dfrac{n_2 \; f_1}{f_1 + r}$ und ebenso $s = \dfrac{n_1 \; f_2}{f_2 - r}$ daher

$$\frac{n_2 \; f_1}{f_1 + r} = \frac{n_1 \; f_2}{f_2 - r}$$

Diese Gleichung ist die Grundformel für die Brechung des Lichtes an einer Kugelfläche.

Wir können ihr offenbar durch Multiplication und Division mit verschiedenen Werthen auch verschiedene andere Formen geben, ohne ihren Werth zu ändern.

Soll in der Grundformel die Objectferne, Bildweite und der Radius nur einmal vorkommen, damit wir diese Werthe leichter berechnen können, so schaffen wir in $\dfrac{n_2 \; f_1}{f_1 + r} = \dfrac{n_1 \; f_2}{f_2 - r}$ vorerst durch Multiplication mit $f_1 + r$ und $f_2 - r$ die Nenner weg:

$$n_2 \; f_1 \; (f_2 - r) = n_1 \; f_2 \; (f_1 + r)$$

und nach Durchführung der Multiplication

$$n_2 \; f_1 \; f_2 - n_2 \; f_1 \; r = n_1 \; f_2 \; f_1 + n_1 \; f_2 \; r.$$

Werden nun alle Glieder dieser Gleichung mit $f_1 \; f_2 \; r$ dividirt, so beibt

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

In dieser eleganten Form wird die Grundformel auch am besten auf das Auge angewendet.

Wenn nemlich (Fig. 1) A das Auge ist, erfüllt blos von einem brechenden Mittel, dessen Brechungsvermögen $= n_2$, und der Krümmungsradius der Cornea $ab = ac = r$, so waltet lediglich der Unterschied vor, dass die nach q tendirenden Licht-

stralen nicht immer zur Durchkreuzung gelangen, sondern irgendwo in der Continuität des gebrochenen Kegels auf die in R befindliche Netzhaut fallen. Hiedurch wird jedoch an der Richtung der Lichtstralen Nichts geändert, und es müssen daher die Bedingungen obiger Gleichung fortbestehen.

Wir können für das Auge des Erwachsenen, dessen optische Axe zwischen 21 und 24 mm schwankt, den Mittelwerth dieser Axe mit 22,5, den Radius der Cornea, welcher zwischen 7—8 mm schwankt, mit 7,5 und den Totalindex $\frac{n_2}{n_1}$ mit $^3/_2$ annehmen. Es verwandelt sich also für das mittlere Auge die Gleichung

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r} \text{ in } \frac{2}{f_1} + \frac{3}{f_2} = \frac{1}{7{,}5}$$

Wir werden im Folgenden diese Gleichung zur Grundlage unserer Erörterungen wählen.

2. Entwickelung der Bildweite aus der Grundformel.

Wir finden in der Gleichung $\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n}{r}$ die Bildweite f_2 (Fig. 1. $f_2 = bq$), wenn wir vorerst $\frac{n_1}{f_1}$ subtrahiren

$$\frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r} - \frac{n_1}{f_1}$$

und die Subtraction der Brüche durchführen

$$\frac{n_2}{f_2} = \frac{(n_2 - n_1) f_1 - n_1 r}{r f_1}$$

Durch Division mit n_2 ergibt sich

$$\frac{1}{f_2} = \frac{(n_2 - n_1) f_1 - n_1 r}{n_2 r f_1}$$

und durch Umkehrung

$$f_2 = \frac{n_2 r f_1}{(n_2 - n_1) f_1 - n_1 r}$$

Wenn demnach im Auge der Krümmungsradius der Cornea $r = 7{,}5$, $\frac{n_2}{n} = \frac{3}{2}$ ist, und die Objectferne $pb = 352{,}5$ beträgt, so ist die Bildweite:

$$f_2 = \frac{3 \times 7{,}5 \times 352{,}5}{3 - 2,\ 352{,}5 - 2 \times 7{,}5} = \frac{7931{,}25}{337{,}5} = 23{,}5.$$

Da nun die optische Axe 22,5 mm lang ist, so liegt das Bild q des Objectes p $23{,}5 - 22{,}5 = 1$ mm hinter der Netzhaut.

3. Entwickelung der Objectferne aus der Grundformel.

Wir finden in der Grundformel $\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$ die Objectferne f_1 Fig. 1. $f_1 = pb$, wenn wir vorerst $\frac{n_2}{f_2}$ subtrahiren

$$\frac{n_1}{f_1} = \frac{n_2 - n_1}{r} - \frac{n_2}{f_2}$$

und die Subtraction durchführen

$$\frac{n_1}{f_1} = \frac{(n_2 - n_1)\ f_2 - n_2\ r}{r\ f_2}$$

Durch Division mit n_1 ergibt sich

$$\frac{1}{f_1} = \frac{(n_2 - n_1)\ f_2 - n_2\ r}{n_1\ r\ f_2}$$

und durch Umkehrung

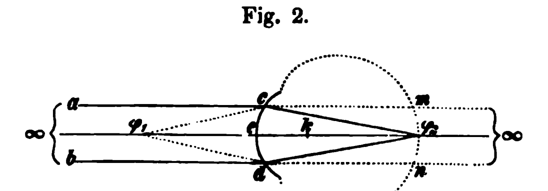
$$f_1 = \frac{n_1\ r\ f_2}{(n_2 - n_1)\ f_2 - n_2\ r}$$

Wenn demnach im Auge der Krümmungsradius $r = 7{,}5$ und der Index $\frac{n_2}{n_1} = \frac{3}{2}$ ist, und die Bildweite wie oben $f_2 = 23{,}5$ beträgt, so berechnet sich die Objectferne

$$f_1 = \frac{2 \times 7{,}5 \times 23{,}5}{(3 - 2)\ 23{,}5 - (3 \times 7{,}5)} = \frac{352{,}5}{1} = 352{,}5.$$

4. Entwickelung der Brennweiten aus der Grundformel. — Das emmetropische Auge.

Fig. 2.



a) Hintere Brennweite. Wenn sich ein Objectpunct in so weiter Entfernung vom Auge befindet, dass dasselbe von parallelen Lichtstralen *ac* und *bd* getroffen wird, so dass man zu sagen pflegt, das Object befinde sich in unendlicher Entfernung $= \infty$, dann vereinigen sich die Lichtstralen nach der Brechung in dem Puncte φ_2, den man den hinteren Brennpunct, und die Entfernung desselben von der Hornhaut $e\varphi_2$ die hintere Brennweite nennt, welche mit F_2 bezeichnet wird.

Es ist nemlich in der Grundformel, wenn die Objectferne $f_1 = \infty$ wird

$$\frac{n_1}{\infty} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

und da $\frac{n_1}{\infty} = 0$ ist, so entfällt dieses Glied aus der Gleichung, daher bleibt

$$\frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

Dividiren wir nun diese Gleichung mit n_2, so ist

$$\frac{1}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{n_2\, r}$$

und durch Umkehrung

$$f_2 = F_2 = \frac{n_2\, r}{n_2 - n_1}$$

Für das Auge wird also, da $\frac{n_2}{n_1} = \frac{2}{3}$ und $r = 7{,}5$ ist, die hintere Brennweite

$$F_2 = \frac{3 \times 7{,}5}{3 - 2} = 22{,}5$$

Unsere Figur lehrt sofort, dass, wenn $F_2 = 22{,}5$ gleich der optischen Axe ist, das Bild φ_2 mit der Netzhaut zusammenfällt, und daher auch deutlich gesehen werden muss. Dieses Auge ist also im Stande, ohne jede Aenderung seines Refractionszustandes in die weite Ferne deutlich zu sehen; es ist für parallele Lichtstralen eingestellt, weil die Netzhaut im Brennpuncte seiner brechenden Medien liegt. Ein solches Auge pflegt man das emmetropische zu nennen.

b) Vordere Brennweite. Wenn die Bildweite $f_2 = \infty$ wird, also die Lichtstralen *cm* und *dn* (Fig. 2) im Auge parallel fortgehen, dann müssen sie von einem Objectpuncte φ_1 herkommen, welchen man den vorderen Brennpunct und seine Entfernung $\varphi_1\, c$ von der Cornea die vordere Brennweite F_1 nennt. Denn wenn in der Grundgleichung $f_2 = \infty$ wird, so ist

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{\infty} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

also entfällt $\frac{n_2}{\infty} = 0$ und es bleibt

$$\frac{n_1}{f_1} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

Durch Division dieser Gleichung mit n_1 entsteht

$$\frac{1}{f_1} + \frac{n_2 - n_1}{n_1\, r}$$

und durch Umkehrung

$$f_1 = F_1 = \frac{n_1\, r}{n_2 - n_1}$$

Für das Auge, wo $\frac{n_2}{n_1} = \frac{3}{2}$ und $r = 7{,}5$, ist also

$$F_1 = \frac{2 \times 7{,}5}{3 - 2} = 15$$

Die vordere Brennweite des Auges beträgt also 15, die hintere 22,5 mm.

5. Brechkraft des Auges.

Wenn wir in die Grundgleichung für $\frac{n_2}{n_1}$ den Werth von $^3/_2$, für den Radius 7,5 und für f_2 den Werth der Axenlänge oder hintere Brennweite des emmetropischen Auges = 22,5 einführen, so ergibt sich

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{22{,}5} = \frac{1}{7{,}5}$$

Dividiren wir diese Gleichung durch 2, so ist

$$\frac{1}{f_1} + \frac{3}{45} = \frac{1}{15} \text{ also auch } \frac{1}{f_1} + \frac{1}{15} = \frac{1}{15}$$

Diese Gleichung hat offenbar nur dann Giltigkeit, wenn wie bei ruhender Accommodation die Objectferne $f_1 = \infty$ ist, denn dann wird $^1/_{15} = {}^1/_{15}$.

Die Brechkraft des emmetropischen Auges ist also für die unendliche Objectferne $= {}^1/_{15}$ in Einheiten des Millimeters ausgedrückt, und dieser Werth ist gleich dem reciproken der vorderen Brennweite. Wir können daher sagen, dass der Brechwerth des Auges jenem einer Sammellinse von 15 mm Brennweite gleichkomme.

Auch in Donders reducirtem Auge, wo $\frac{n_2}{n} = {}^4/_3$ und $r = 5$ mm, die hintere Brennweite = 20 ist, wird die Grundformel offenbar

$$\frac{3}{f_1} + \frac{4}{20} = \frac{1}{5} \text{ daher auch } \frac{1}{f_1} + \frac{4}{60} = \frac{1}{15} \text{ oder}$$

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{15} = \frac{1}{15}$$

Die Brechkraft dieses Auges ist daher gleichfalls $= \frac{1}{15}$

6. Berechnung des Krümmungsradius aus der Grundgleichung.

Wenn man in $\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$ die Addition der Brüche durchführt

$$\frac{n_1 f_2 + n_2 f_1}{f_1 f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

und durch $n_2 - n_1$ dividirt

$$\frac{n_1 f_2 + n_2 f_1}{f_1 f_2 (n_2 - n_1)} = \frac{1}{r}$$

ergibt sich durch Umkehrung

$$r = \frac{f_1 f_2 (n_2 - n_1)}{n_1 f_2 + n_2 f_1}$$

Sei daher am Auge $\frac{n_2}{n_1} = {}^3/_2$ und $f_1 = 352{,}5$, $f_2 = 23{,}5$ so ist

$$r = \frac{352{,}5 \times 23{,}5\ (3-2)}{(23{,}5 \times 2) + (352{,}5 \times 3)} = \frac{8283{,}75}{1104{,}5} = 7{,}5.$$

7. Berechnung des Radius aus den Brennweiten.

a) aus der vorderen Brennweite. Wenn wir in der Gleichung für die vordere Brennweite $F_1 = \frac{n_1 r}{n_2 - n_1}$ den Werth des Radius r suchen, so ist

$$r = \frac{F_1 (n_2 - n_1)}{n_1}$$

Daher für das Auge, wo $F_1 = 15$ und $\frac{n_2}{n_1} = {}^3/_2$

$$r = \frac{15\ (3 - 2)}{2} = 7{,}5.$$

b) aus der hinteren Brennweite. Sucht man den Krümmungsradius in der Gleichung für die hintere Brennweite

$$F_2 = \frac{n_2 r}{n_2 - n_1}$$

so ist $r = \frac{F_2 (n_2 - n_1)}{n_2}$

Daher für das Auge, wo $F_2 = 22{,}5$ ist

$$r = \frac{22{,}5 \ (3 - 2)}{3} = 7{,}5$$

8. Die vier Species der Brennweiten, und zwar deren Summe, Differenz, Quotient und Product.

Summe der Brennweiten S, und deren Beziehung zum Radius, sowie zu den einzelnen Brennweiten.

Wenn man die Werthe der beiden Brennweiten summirt, und die Summe mit S bezeichnet, so ist

$$S = F_1 + F_2 = \frac{n_1 \ r}{n_2 - n_1} + \frac{n_2 \ r}{n_2 - n_1}$$

und bei Durchführung der Addition der Brüche

$$S = \frac{n_1 \ r \ (n_2 - n_1) + n_2 \ r \ (n_2 - n_1)}{(n_2 - n_1)^2}$$

woraus folgt

$$S = \frac{n_1 \ r + n_2 \ r}{n_2 - n_1}$$

oder

$$S = \frac{r \ (n_1 + n_2)}{n_2 - n_1}$$

Suchen wir nun in dieser Gleichung den Radius, so ist

$$r = \frac{S \ (n_2 - n_1)}{n_1 + n_2}$$

Für das Auge, wo $F_1 = 15$ und $F_2 = 22{,}5$, ist $S = 37{,}5$, und $\frac{n_2}{n_1} = \frac{3}{2}$ daher

$$r = \frac{37{,}5 \ (3 - 2)}{3 + 2} = 7{,}5.$$

Suchen wir jede einzelne Brennweite in deren Summe, so wissen wir, einer späteren Erörterung vorgreifend, dass sich

die Brennweiten zu einander verhalten, wie das Brechungs-vermögen, also $\frac{F_2}{F_1} = {}^3/_2$. Es ist daher die vordere Brennweite

$$F_1 = \frac{S \cdot n_1}{n_2 + n_1} = \frac{37{,}5 \times 2}{5} = 15$$

und die hintere $F_2 = \frac{S \cdot n_2}{n_2 + n_1} = \frac{37{,}5 \times 3}{5} = 22{,}5$

9. Differenz der Brennweiten und ihre Beziehung zum Radius.

Subtrahiren wir die vordere Brennweite von der hinteren, so ist $F_2 - F_1 = \frac{n_2\, r}{n_2 - n_1} - \frac{n_1\, r}{n_2 - n_1}$

also $\quad F_2 - F_1 = \frac{r\, n_2\, (n_2 - n_1) - r\, n_1\, (n_2 - n_1)}{(n_2 - n_1)^2}$

somit $\quad F_2 - F_1 = \frac{r\,(n_2 - n_1)}{n_2 - n_1} = r$

Also ergibt sich der Werth des Krümmungsradius unmittelbar aus der Differenz der Brennweiten.

Am Auge ist daher

$$F_2 - F_1 = 22{,}5 - 15 = 7{,}5.$$

Daraus folgt auch

$$F_2 - r = F_1 \text{ und}$$
$$F_1 + r = F_2$$

d. h. die Differenz der hinteren Brennweite und des Radius ergibt die vordere Brennweite, und die Summe der vorderen Brennweite und des Radius ergibt die hintere Brennweite.

Es ist daher auch (Fig. 2) $\varphi_1 e + ek = F_2$ und $e\varphi_2 - ek = F_1$ woraus folgt: Der Abstand des Krümmungsmittelpunctes k vom hinteren Brennpunct φ_2 also $k\varphi_2$ ist gleich der vorderen Brennweite und der Abstand des Krümmungsmittelpunctes vom vorderen Brennpunct ist gleich der hinteren Brennweite

$$\varphi_1\, e = k\varphi_2 = F_1$$
$$\varphi_1\, k = e\varphi_2 = F_2$$

Wenn man somit in einem Auge die Länge der optischen Axe und den Krümmungsradius kennt, so lassen sich die Brennweiten desselben in der Form des mittleren Auges berechnen. So ist im schematischen Auge von Helmholtz der Radius der Cornea = 7,829 und die Axenlänge = 22,834, also $F_1 = 22,834 - 7,829 = 15,005$ und $F_2 = 22,834$.

10. Quotient der Brennweiten; dessen Beziehung zum Brechungsvermögen und Radius.

Wenn man die hintere Brennweite durch die vordere dividirt, so ist

$$F_2 : F_1 = \frac{n_2\ r}{n_2 - n_1} : \frac{n_1\ r}{n_2 - n_1} = \frac{n_2\ r}{n_1\ r} = \frac{n_2}{n_1}$$

Also verhalten sich die Brennweiten wie das Brechungsvermögen.

Am Auge ist $\frac{F_2}{F_1} = \frac{22,5}{15} = \frac{3}{2}$

In Helmholtz schematischem Auge wäre durch Umwandlung desselben in ein reducirtes

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{22,834}{15,003} = \frac{n_2}{n_1} = 1,5217$$

Der Totalindex dieses reducirten Auges ist demnach thatsächlich jener des Glases; er übersteigt jenen des gewöhnlichen Glases von 1,5 um ein Geringes, und steht jenem des Spiegel- oder Kronglases nahe.

11. Beziehung der Brennweiten zu den conjugirten Vereinigungsweiten f_1 und f_2. Entwickelung der Scheitelpunctsgleichung.

Wenn man die Grundgleichung $\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$

durch $\frac{n_2 - n_1}{r}$ dividirt, so ist:

im ersten Gliede $\frac{n_1}{f_1} : \frac{n_2 - n_1}{r} = \frac{n_1 \ r}{f_1 \ (n_2 - n_1)}$

im zweiten Gliede $\frac{n_2}{f_2} : \frac{n_2 - n_1}{r} = \frac{n_2 \ r}{f_2 \ (n_2 - n_1)}$

und im dritten $\frac{n_2 - n_1}{r} : \frac{n_2 - n_1}{r} = 1$

also bei Zusammenstellung der drei gefundenen Werthe

$$\frac{n_1 \ r}{f_1 \ (n_2 - n_1)} + \frac{n_2 \ r}{f_2 \ (n_2 - n_1)} = 1.$$

Nun ist aber $\frac{n_1 \ r}{n_2 - n_1} = F_1$ und $\frac{n_2 \ r}{n_2 - n_1} = F_2$; daher durch Substitution dieser Bezeichnungen

$$\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1.$$

Ist für das Auge die Objectferne $f_1 = 352,5$, so ist die Bildweite $f_2 = 23,5$, also $\frac{15}{352,5} + \frac{22,5}{23,5} = 1$,

somit $\frac{1}{23,5} + \frac{1}{1,044..} = 1$, daher $\frac{24,544}{24,544} = 1$.

Damit haben wir einen einfachen Ausdruck gewonnen, — die sogenannte Scheitelpunktsgleichung, — aus welcher sich bei bekannten Brennweiten, die Objectferne f_1 und Bildweite f_2 berechnen lassen.

Sucht man die Objectferne f_1, so ist in $\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$

$$\frac{F_1}{f_1} = 1 - \frac{F_2}{f_2} = \frac{f_2 - F_2}{f_2}$$

daher $\frac{1}{f_1} = \frac{f_2 - F_2}{F_1 \ f_2}$

und durch Umkehrung

$$f_1 = \frac{F_1 \ f_2}{f_2 - F_2}$$

Sucht man die Bildweite f_2, so ist in $\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$

$$\frac{F_2}{f_2} = 1 - \frac{F_1}{f_1} = \frac{f_1 - F_1}{f_1}$$

daher
$$f_2 = \frac{F_2\, f_1}{f_1 - F_1}$$

Für das Auge, wo $F_1 = 15$ und $F_2 = 22{,}5$ ist, wird

daher
$$f_1 = \frac{15\, f_2}{f_2 - 22{,}5} \text{ und } f_2 = \frac{22{,}5\, f_1}{f_1 - 15}$$

Hieraus kann man sofort entnehmen, dass die Objectferne und Bildweite dreifach durch die Brennweiten des Auges bestimmt werden.

a) Wenn die Objectferne einen positiven Werth hat von ∞ bis zum Werthe der vorderen Brennweite, dann ist auch die Bildweite positiv, und schwankt zwischen dem Werthe der hinteren Brennweite und ∞. Wenn also z. B. $f_1 = 100\,mm$, so ist

$$f_2 = \frac{22{,}5 \times 100}{100 - 15} = \frac{2250}{85} = 26{,}4.$$

b) Wenn die Objectferne sich innerhalb der vorderen Brennweite befindet, dann schwankt die Bildweite von ∞ bis o, und ist negativ. Sei daher z. B. $f_1 = 10$, so ist

$$f_2 = \frac{22{,}5 \times 10}{10 - 15} = \frac{225}{-5} = -45.$$

c) Wenn die Objectferne negativ ist, dann ist die Bildweite wieder positiv, aber schwankt innerhalb der hinteren Brennweite, befindet sich daher innerhalb des Auges.

Sei daher $f_1 = -100$, so ist

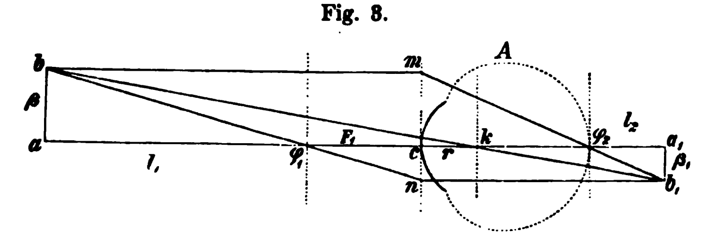
$$f_2 = \frac{22{,}5 \times -100}{-100 - 15} = \frac{22{,}5 \times 100}{100 + 15} = \frac{2250}{115} = 19.$$

Da die Netzhaut ihre Lage in der hinteren Brennebene hat, so fällt, wenn $f_1 = \infty$ ist, das Bild mit der Netzhaut zusammen. Es rückt, sobald f_1 einen endlichen Werth annimmt, immer weiter hinter die Netzhaut, und ist in unendlicher Entfernung, wenn $f_1 = F_1$ wird. Bei weiterem Heranrücken von f_1

wird das Bild überunendlich oder negativ, und wenn $f_1 = o$, das heisst, wenn das Object mit dem Cornealscheitel zusammenfällt, dann wird auch $f_2 = o$. Wird sodann f_1 negativ, indem es hinter die Cornea rückt, dann wird zwar f_2 positiv, aber es bleibt immer vor der Ebene der Netzhaut. Daraus ergibt sich, dass nur für den Fall, wenn die Objectferne zwischen dem Werthe ∞ bis F_1 schwankt, die positive Bildweite behufs deutlichen Sehens mit Hilfe der Accommodation verwerthet werden könne. In den beiden anderen Fällen ist die Accommodation ausser Stande, das Bild durch Erhöhung der Brechkraft auf die Netzhaut zu verschieben, weil das Bild nicht hinter der Netzhaut, sodann vor derselben liegt.

12. Entwickelung des Productes der Brennweiten. — Brennpunctsgleichung. — Brennobjectferne und Brennbildweite.

Fig. 8.



Wenn wir die Grenze der Objectferne nicht am Cornealscheitel c (Fig 3) sondern im vorderen Brennpunct φ_1 annehmen, und hiefür die Bezeichnung Brennobjectferne $= l_1$ wählen, somit (Fig 3) $a\varphi = l_1$, so ist offenbar

$$l_1 = f_1 - F_1$$

also auch

$$f_1 = l_1 + F_1$$

Ebenso ist, wenn wir die Bildweite lediglich vom hinteren Brennpuncte φ_2 und nicht vom Cornealscheitel c zählen, und diesen Werth $\varphi_2\, a_1$, die Brennbildweite mit l_2 bezeichnen

$$l_2 = f_2 - F_2$$

$$f_2 = l_2 + F_2$$

Substituiren wir nun diese Werthe von f_1 und f_2 in die Scheitelpunctsgleichung $\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$, so ist

$$\frac{F_1}{l_1 + F_1} + \frac{F_2}{l_2 + F_2} = 1$$

Wird die Addition der Brüche durchgeführt, so ist

$$\frac{F_1 l_2 + F_2 l_1 + F_1 F_2 + F_1 F_2}{F_1 l_2 + F_2 l_1 + F_1 F_2 + l_1 l_2} = 1$$

Da sich nun die gleichen Glieder heben, so bleibt

$$\frac{F_1 F_2}{l_1 l_2} = 1 \text{ oder } F_1 F_2 = l_1 l_2$$

Das Product der Brennweiten ist also gleich dem Producte der Brennobjectferne und Brennbildweite, oder dem Producte der um die betreffenden Brennweiten verminderten conjugirten Vereinigungsweiten.

Die Gleichung des Productes der Brennweiten, auch Brennpunctsgleichung genannt, ist die einfachste zur Berechnung der conjugirten Vereinigungsweiten bei bekannten Brennweiten.

Wenn nemlich am Auge $F_1 F_2 = 15 \times 22{,}5 = 337{,}5$ ist, so ist auch

$$l_1 = \frac{337{,}5}{l_2} \text{ und } l_2 = \frac{337{,}5}{l_1}$$

Ist einer dieser Werthe negativ, so wird es auch der Andere, z. B. $\frac{337{,}5}{-l_2} = -l_1$

Sei also für das Auge von $F_1 F_2 = 337{,}5$ die Objectferne $f_1 = 352{,}5$, so ist offenbar $l_1 = f_1 - F_1 = 352{,}5 - 15$, also $l_1 = 337{,}5$ und $l_2 = \frac{337{,}5}{337{,}5} = 1$

Ist dagegen die Bildweite $f_2 = 23{,}5$, so ist $l_2 = f_2 - F_2 = 23{,}5 - 22{,}5$, daher $l_1 = \frac{337{,}5}{1} = 337{,}5$

Um die Brennobjectferne l_1 zu finden, haben wir also das Product der Brennweiten durch die Brennbildweite zu dividiren,

und umgekehrt, und jede derselben, vermehrt um die betreffende Brennweite, gibt die entsprechende conjugirte Vereinigungsweite.

13. Entwickelung der Knotenpunctsgleichung.

Aus der in (1) entwickelten Gleichung

$$\frac{n_2 f_1}{f_1 + r} = \frac{n_1 f_2}{f_2 - r}$$

ergibt sich, dass

$$f_1 + r = \frac{n_2 f_1 (f_2 - r)}{n_1 f_2}$$

Dividiren wir diese Gleichung durch $f_1 + r$, so ist

$$\frac{f_1 + r}{f_1 + r} = \frac{n_2 f_1 (f_2 - r)}{n_1 f_2 (f_1 + r)} = 1.$$

Diese Gleichung heisst die Knotenpunctsgleichung, und bezeichnet man $f_1 + r$ mit g_1, und $f_2 - r$ mit g_2, so ist

$$\frac{g_2 n_2 f_1}{g_1 n_1 f_2} = 1$$

also auch $\frac{g_1}{g_2} = \frac{n_2 f_1}{n_1 f_2} = \frac{f_1 + r}{f_2 - r}$

Am Auge, wenn $f_2 = 23{,}5$, $f_1 = 352{,}5$, $r = 7{,}5$, ist also

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{352{,}5 + 7{,}5}{23{,}5 - 7{,}5} = \frac{360}{15} = 24.$$

Die Entfernung des Objectes vom Krümmungsmittelpuncte des Auges ist also 24mal grösser, als die Entfernung des Bildes von demselben, in Einheiten der vordern Brennweite ausgedrückt.

14. Die Grenzen der Objectferne und Bildweite.

Aus den bisherigen Erörterungen ergibt sich, dass die Grenzen der Objectferne und Bildweite dreifach bestimmt werden.

1. Beide können nach der Brennpunktsgleichung (12) bis zu den Brennpuncten gezählt werden. So ist (Fig. 3) $a\varphi_1 = f_1 - F_1 = l_1$ die Brennobjectferne, $a_1 \varphi_2 = f_2 - F_2 = l_2$ die Brennbildweite, welche durch die Brennpuncts-Gleichung $F_1 F_2 = l_1 l_2$ bestimmt sind.

2. Beide können nach der Knotenpunctsgleichung (13) bis zum Knotenpuncte oder Krümmungsmittelpuncte gezählt werden. So ist $ak = f_1 + r = g_1$ die Knotenobjectferne und $a_1 k = f_2 - r = g_2$ die Knotenbildweite, welche durch die Knotenpunctsgleichung bestimmt wird.

3. Beide können nach der Grundformel (1) bis zum Cornealscheitel gezählt werden. So ist $ac = f_1$ die Objectferne und $a_1 c = f_2$ die Bildweite, welche durch die Grundgleichung $\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$ bestimmt werden.

Es dürfte wünschenswerth sein, diese 3 Formen der conjugirten Vereinigungsweiten strenger als bisher auseinander zu halten. Denn es ist in der That, namentlich bei Bestimmung der Accommodationsgrenzen, so wie in der Brillenlehre dadurch einige Verwirrung in die Sache gekommen, dass man eine Zeit lang den Knotenpunct als allgemeinen Grenzpunct festhielt, und die Grundgleichung mit der Knotenpunctsgleichung verwechselt hat. Anderntheils ist der Hauptpunct die allgemeine Grenze der conjugirten Vereinigungsweiten, aber für die Betrachtung der Accommodation so wie für die Berechnung der Bildgrössen ist auch die Beziehung der Objectferne zum vorderen Brennpunct von Wichtigkeit. Ich möchte daher vorschlagen, um Verwirrungen zu vermeiden, bei den verschiedenen bezüglichen Erörterungen immer für f_1 die Bezeichnung «Objectferne», für l_1 «Brennobjectferne» und für g_1 «Knotenobjectferne» festzuhalten, und ebenso für f_2 «Bildweite», für l_2 «Brennbildweite» und für g_2 Knotenbildweite zu wählen. Die Bedeutung dieser Unterscheidung ergibt sich sofort bei Berechnung der Grösse des Bildes.

15. **Grösse des Bildes.** (Fig. 3.)

Legt man durch den vorderen Brennpunct φ_1 den Hauptpunct c, den Knotenpunct k und hinteren Brennpunct φ_2 ent-

sprechend benannte Ebenen, so lässt sich die Richtung jedes ausserhalb der Axe aa_1 befindlichen Stralenbüschels auf Grund der bisher entwickelten Gesetze construiren. Sei in ab ein Object, so verfolgen wir drei der von b ausgehenden Stralen.

a) Der von b durch den vorderen Brennpunct φ_1 gehende Stral trifft die Hauptebene mn in n, wird dort parallel der Axe gebrochen, und geht von n nach b_1 fort.

b) Der von b zum Knotenpuncte k tendirende Normalstral geht ungebrochen nach b_1.

c) Der parallel der Axe aa_1 von b nach m tendirende Stral wird in m so gebrochen, dass er nach der Brechung durch den hinteren Brennpunct φ_2 nach b_1 fortgeht.

Die 3 Stralen schneiden einander daher in b_1, wo das Bild des Punctes b ist. Lässt man von b_1 ein Loth auf die Axe nach a_1 fallen, so ist auch a_1 das Bild von a. Wird nun ab mit β und $a_1 b_1$ mit β_1 bezeichnet, so ergeben sich folgende einfache Relationen rechtwinkliger Dreiecke:

a) Da im $\triangle\, ab\varphi_1$ und $\varphi_1 cn$ $a\varphi_1 = l_1$ und $\varphi_1 c = F_1$ ist, da ferner $cn = a_1 b_1 = \beta_1$ und $ab = \beta$ ist, so ergibt sich

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{F_1}{f_1 - F_1} = \frac{F_1}{l_1}$$

Das Bild verhält sich zum Object, wie die vordere Brennweite zur Brennobjectferne.

b) Da im $\triangle$ abk und $ka_1 b_1$ die Strecke $ak = f_1 + r = g_1$ und $ka_1 = f_2 - r = g_2$, so ist

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{f_2 - r}{f_1 + r} = \frac{g_2}{g_1}$$

Das Bild verhält sich zum Object, wie die Knotenbildweite zur Knotenobjectferne.

c) Da im $\triangle$ $mc\varphi_2$ und $a_1 b_1 \varphi_2$ die Linie $c\varphi_2 = F_2$ und $\varphi_2 a_1 = l_2$, so ist

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{f_2 - F_2}{F_2} = \frac{l_2}{F_2}$$

Das Bild verhält sich zum Object, wie die Brennbildweite zur hinteren Brennweite.

Sei also beispielsweise für das Auge die Objectferne $f_1 = 352{,}5$, so ist wie früher berechnet, die Bildweite $f_2 = 23{,}5$ und $l_1 = 337{,}5$, ferner $l_2 = 1$ und $g_1 = f_1 + r = 360$, dann $g_2 = f_2 - r = 16$.

Wenn unter diesen Voraussetzungen das Object β die Grösse von 10 mm hat, so ist die Grösse des Bildes β_1

$$a)\ \beta_1 = \frac{\beta\, F_1}{l_1} = \frac{10 \times 15}{337{,}5} = 0{,}44$$

$$b)\ \beta_1 = \frac{\beta\, g_2}{g_1} = \frac{10 \times 16}{360} = 0{,}44$$

$$c)\ \beta_1 = \frac{\beta\, l_2}{F_2} = \frac{10 \times 1}{22{,}5} = 0{,}44.$$

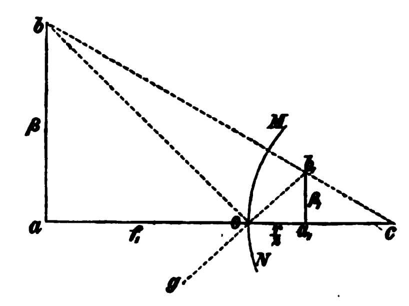
Das Bild eines Objectes von 10 mm Grösse, welches 352,5 vor dem Auge steht, wäre demnach 0,44 gross, wenn es 1 mm hinter der Netzhaut zu Stande käme.

16. Katoptrik der Cornea. Berechnung des Cornealradius aus dem Kugelspiegelbilde derselben.

Die Cornea hat für reflectirtes Licht die Bedeutung eines Kugelspiegels, dessen Brennweite p gleich ist dem halben Radius; also $p = \frac{r}{2}$ und $r = 2\,p$.

Wenn (Fig. 4) MN ein Kugelabschnitt der Hornhaut ist, deren Radius $r = oc$, und ab ein Object β, so werden die von den Grenzpuncten des Objectes a und b ausgehenden Lichtstralen ac und bc als Richtungsstralen an der Cornea in sich selbst zurückreflektirt. Ein zweiter von b ausgehender Stral bo wird vom Scheitel der Cornea o nach og reflektirt. In b_1 wo die hinter die Cornea verlängert gedachten Stralen bc und og sich schneiden, ist das virtuelle Bild von b, und in dem Fuss-

Fig. 4.



puncte von b_1, also in a_1 ist das virtuelle Bild von a. Also ist $a_1 b_1$ das virtuelle, aufrechte, verkleinerte Bild von ab. Es verhält sich daher

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{oa_1}{oa}$$

Da $oa = f_1$ die Objectferne bedeutet, und man für ferne Objecte die Bildweite oa_1 gleich der Brennweite annehmen kann, also $oa_1 = p = \frac{r}{2}$ so ist auch

$$\beta_1 : \beta = \frac{r}{2} : f_1$$

$$\text{daher } \frac{r}{2} = \frac{\beta_1 f_1}{\beta} \text{ und } r = \frac{2 \beta_1 f_1}{\beta.}$$

Wenn nun bei allen Abmessungen der Spiegelbilder der Cornea, wie in Fig. 4, die Grösse des Objectes ab und dessen Entfernung ao von der Cornea von gleichem Werthe gewählt wird, so ist auch die Bildweite oa_1 immer gleich dem Bilde $b_1 a_1$. Nun ist $\frac{2f_1}{\beta}$ eine Constante, und da $f_1 = \beta$ ist, so ist $\frac{2f_1}{\beta} = 2$. Wir haben also immer nur die Grösse des Reflexbildes durch Messung zu bestimmen. Diese Grösse bedeutet die Brennweite, und ihr doppelter Werth den Radius der Cornea.

Seien also die Objectferne f_1 und das Object β beide mit 1300 m/m gewählt, und das Spiegelbild β_1 mit 3,5 m/m gemessen, so ist

$$r = \frac{2\ f_1\ \beta_1}{\beta} = \frac{2 \times 1300 \times 3{,}5}{1300} = 7\ \text{m/m}.$$

Hiebei ist freilich angenommen, dass die Spiegelbildweite oa_1 gleich der Brennweite sei, was nicht richtig ist, weil bei endlicher Entfernung des Objectes die Bildweite immer kleiner ist als die Brennweite.

Es ist nemlich, wenn wir die Bildweite mit α bezeichnen, die Brennweite

$$p = \frac{r}{2} = \frac{f_1\ \alpha}{f_1 - \alpha}$$

also

$$r = \frac{2\ f_1\ \alpha}{f_1 - \alpha}$$

Da nun unter obigen Voraussetzungen das Spiegelbild β_1 gleich der Bildweite α ist, so ist auch

$$r = \frac{2\ f_1\ \beta_1}{f_1 - \beta_1} = \frac{2 \times 1300 \times 3{,}5}{1300 - 3{,}5} = 7{,}0189.$$

Die bisher allgemein angenommene Formel $\frac{2 f_1 \beta}{\beta}$ ergibt also einen zu kleinen Radius, und es ist besser, die Formel $\frac{2\ f_1\ \beta_1}{f_1 - \beta_1}$ zur Berechnung des Cornealradius heranzuziehen, da sie exacter ist, und sich auch leicht handhaben lasst.

Für rasche, klinische Bestimmungen des Cornealradius reicht man allerdings mit der Formel $r = 2\ \beta_1$ aus, indem hiebei ja der Fehler kaum viel mehr als 0·02 beträgt.

Zur Messung der Spiegelbilder der Cornea bedient man sich zweier in der Distanz *ab* befindlichen Lichtpuncte, und misst die Grösse des Bildes mit dem Helmholtz'schen Ophthalmometer.

Zu klinischen Bestimmungen der Cornealradien, wo es sich um eine möglichst rasche Messung handelt, pflege ich einen aus

zwei gegeneinander verschiebbaren, in Rähmchen gespannten Platindrähten bestehenden Massstab zu verwenden, welcher mit Hilfe eines Nonius Distanzunterschiede der Drähte von $^1/_{20}$ ᵐ/ₘ angibt. Es können daher mit ziemlicher Genauigkeit Cornealradien von $^1/_{10}$ ᵐ/ₘ Differenz bestimmt werden, was für klinische Zwecke umsomehr hinreicht, als ja der Einfluss des Cornealradius auf die Refraction des Auges nur im Vergleiche zur Axenlänge und zum Brechungsvermögen desselben von entscheidendem Werthe ist, diese beiden letzteren sich aber bei Lebenden bisher direct nicht messen lassen.

17. Gang des Lichtes im sogenannten schematischen Auge.

Wir sind durch die bisherigen Erörterungen in den Stand gesetzt, den Gang der Lichtstralen im schematischen Auge zu verfolgen. In diesem wird nemlich für die Linse ein Totalindex gewählt, und jener der Cornea, des Kammerwassers und Glaskörpers als identisch angenommen. Das Licht erfährt daher lediglich an drei Trennungsflächen, der Cornea, Vorder- und Hinterkapsel eine Ablenkung.

Wir wollen auf Grund der von Helmholtz gewählten optischen Constanten dieses Auges den Gang des Lichtes in demselben berechnen.

a) Brechung an der Hornhaut. Brennweiten dieser Membran. — Parallele, von vorn auf die Hornhaut fallende Lichtstralen vereinigen sich in der hinteren Brennweite F_2 dieser Membran. Nun ist (nach 4) die vordere Brennweite $F_1 = \frac{n_1 r}{n_2 - n_1}$ und die hintere $F_2 = \frac{n_2 r}{n_2 - n_1}$. Helmholtz wählt für den Cornealradius r den Werth von 7,829, das Brechungsvermögen der Cornea $n_2 = 1,3365$. Also ist

$$F_1 = \frac{7,829}{0,3365} = 23,2659$$

$$F_2 = \frac{7{,}829 \times 1{,}3365}{0{,}3365} = 31{,}0949.$$

b) Brechung an der Vorderkapsel und deren Brennweiten. Vorerst sind die Brennweiten auch dieser Trennungsfläche, welche einen Radius von 10 m/m hat, zu bestimmen. Das Brechungsvermögen des Kammerwassers wird $n_1 = 1{,}3365$, jenes der Linse $n_2 = 1{,}4371$ angenommen. Daher

$$F_1 = \frac{1{,}3365 \times 10}{1{,}4371 - 1{,}3365} = 132{,}85288$$

$$F_2 = \frac{1{,}4371 \times 10}{1{,}4371 - 1{,}3565} = 142{,}85288.$$

Nun steht die Vorderkapsel 3,6 hinter der Cornea; die von der Letzteren kommenden, nach 31, .. convergirenden Stralen müssten sich also 31, ..—3,6 = 27,495 hinter der Vorderkapsel vereinigen. Diess ist die negative Objectferne für die Vorderkapsel, also $f_1 = -27{,}495$. Der Ausdruck für die Bildweite ist (nach 11)

$f_2 = \frac{f_1 F_2}{f_1 - F_1}$ und da hier f_1 einen negativen Werth hat

$$f_2 = \frac{f_1 F_2}{f_1 + F_1} = \frac{27{,}495 \times 142{,}8 \ldots}{27{,}4 \,.\, + 132{,}8 \ldots} = 24{,}495118.$$

c) Brechung an der hinteren Kapsel, und deren Brennweiten. Da der Radius der hinteren Kapsel mit 6 m/m angenommen wird, ist

$$F_1 = \frac{1{,}3365 \times 6}{1{,}4371 - 1{,}3365} = 79{,}71162$$

$$F_2 = \frac{1{,}4371 \times 6}{1{,}4371 - 1{,}3365} = 85{,}71162$$

Die nach 24,4 . . . hinter der Vorderkapsel tendirenden Stralen fallen zunächst auf die Hinterkapsel, deren Abstand von der vorderen 3,6 beträgt. Sie würden sich also 24,4 . . — 3,6 = 20,895118 hinter der Linse vereinigen. Dieser Werth

ist abermals negativ. Um daher den Vereinigungspunct der Stralen hinter der Linse zu finden, benutzen wir die Gleichung

$$f_1 = \frac{f_2 \; F_1}{f_2 - F_2}$$ und da $f_2 = -20{,}895$ ist, haben wir

$$f_1 = \frac{20{,}895 \times 79{,}7 \ldots}{20{,}8 \ldots + 85{,}7} = 15{,}62361.$$

Da die hintere Kapsel von der Cornea 7,2 m/m entfernt angenommen ist, liegt daher der Vereinigungspunct von parallel auf die Cornea auffallenden Stralen 15,62361 + 7,2 = 22,82361 hinter der Cornea.

Diess ist der Ort des hinteren Brennpunctes, also auch die Länge der optischen Axe.

Gang der Lichtstralen in umgekehrter Ordnung.

Wenn man den Ort des vorderen Brennpunctes feststellen will, so muss die Brechung solcher Stralen, welche im Glaskörper parallel fortgehen, durch die Linse und Cornea in Betrachtung gezogen werden.

Da die hintere Brennweite der hinteren Kapsel $F_2 = 85{,}71172$ ist, so convergiren Lichtstralen, welche von hinten auf die hintere Kapsel auffallen, gegen einen vor derselben in 85,7 . . . gelegenen Punct.

Auf die vordere Kapsel gelangt, ist für diese daher $-f_2 = 85{,}7 - 3{,}6 = -82{,}11172$, und da die vordere Brennweite die vorderen Kapsel $F_1 = 132{,}8 \ldots$ und die hintere $F_2 = 142{,}8 \ldots$ beträgt, ist die Objectferne f_1

$$f_1 = \frac{f_2 \; F_1}{f_2 - F_2} = \frac{82{,}11 \ldots \times 132{,}8 \ldots}{82{,}11 + 142{,}85} = 48{,}491089.$$

Auf die Cornea gelangen die Stralen nunmehr in der Distanz 48,49 . . — 3,6 = 44,891089 und dieser Werth ist abermals negativ.

Da bei der Cornea $F_1 = 23{,}2659$ und $F_2 = 31{,}095$, so ist

$$f_1 = \frac{f_2 \; F_1}{f_2 - F_2} = \frac{44{,}89 \ldots \times 23{,}266}{44{,}89 + 31{,}095} = 13{,}7451.$$

Die in Glaskörper parallelen Stralen vereinigen sich also 13,7451 vor der Hornhaut. Diess ist der negative Ort des vorderen Brennpunctes.

Es lässt sich also nach der eben eingeschlagenen Methode der Ort der beiden Brennpuncte für das schematische Auge genau finden, wenn die optischen Constanten als bekannt vorausgesetzt werden.

Damit sind freilich die Brennweiten selbst noch nicht bestimmt. Nach Helmholtz wäre auf Grund der Gauss-Listing'schen Formeln die vordere Brennweite dieses Auges 15,5025 und die hintere 20,719. Wir wollen aber nunmehr den Versuch machen, auch auf einem anderen Wege die Brennweiten zu finden.

18. Das reducirte und das mittlere Auge.

Da der müssige Raum, welcher sich bei Berechnung der Brennweiten des Auges auf Grund der Gauss-Listing'schen Formeln ergibt, nur klein ist, und die unvermeidlichen Fehler bei Bestimmung des Brechungsvermögens der Cornea, des Kammerwassers, Glaskörpers und der Linse, so wie bei jener der Krümmungsradien der Cornea und Linse auch in Betrachtung kommen: so kann von einer völlig exacten Berechnung der Brennweiten eines bestimmten Auges niemals die Rede sein, und es hat desshalb bereits Listing gerathen, die Berechnung der Brennweiten auf der Grundlage eines Haupt- und Knotenpunctes vorzunehmen.

Hiedurch ändert sich allerdings die Sachlage mit einem Schlage ganz wesentlich, und in einer für die Praxis ausserordentlich vortheilhaften Weise. Der einfache Hauptpunct rückt nemlich aus dem Binnenraume des Auges heraus in den Scheitel der einzigen Trennungfläche, der Hornhaut, der einfache Knotenpunct liegt im Krümmungsmittelpuncte der Hornhaut, und das Auge ist blos von einem brechenden Mittel erfüllt, demnach linsenlos. Ein solches Auge nannte Listing das reducirte.

Bei der Berechnung des reducirten Auges erhebt sich nun in erster Reihe die Frage nach dem Totalindex, und in zweiter jene nach dem Krümmungsradius und der Axenlänge.

Wenn man mit Listing den Totalindex nicht wesentlich von jenem der Cornea des schematischen abweichend annimmt, dann muss man sich dazu bequemen, sowohl den Radius als die Axenlänge erheblich zu reduciren, und man gelangt zu einem Miniaturauge, welches bei Berechnungen von Axen-, Krümmungs- und Indexfehlern nicht wohl brauchbar ist. Donders hat ein abgerundetes Listing'sches Auge angenommen, dessen hintere Brennweite 20, vordere 15, Radius 5 und Index $4/3$ beträgt. Cornealkrümmung und Axenlänge dieses Auges sind um mindestens 2% kleiner als im mittleren normalen Auge, und der Totalindex steht höchstens dem eines pathologisch aphakischen Auges nahe, nimmt also auf die thatsächliche Erhöhung der Brechkraft der Cornea durch die eingeschaltete Linse im normalen Auge keine Rücksicht. Es ist aber namentlich für die Berechnung dioptrischer Fehler wünschenswerth, ein reducirtes oder mittleres Auge aufzustellen, dessen Cornealradius, Axenlänge und Totalindex nicht erheblich von jenen des normalen Auges abweichen.

Wenn man den niederen Totalindex von $4/3$ annimmt, und den Brennpunctsabstand gleich der oben gefundenen Summe der beiden Brennweiten (15,62361 + 13,7451 + 7,2) = 36,56871 setzt, welche wir mit S bezeichnen wollen, so berechnet sich der Radius dieses Auges (nach 7)

$$r = \frac{S(n_2 - n_1)}{n_2 + n_1} = \frac{36{,}5\,..\times 0{,}333}{2{,}333} = 5{,}22365$$

also ist die vordere Brennweite $F_1 = 3\,r = 15{,}67095$ und die hintere $F_2 = 4\,r = 20{,}8946$.

Die Brennweiten stehen also jenen des schematischen Auges von Helmholtz allerdings sehr nahe, aber es sind alle anderen Constanten, die Axenlänge wie 20,894 : 22,834, der Radius wie 5,223 : 7,829 und der Index von 1,333 : 1,5 sehr erheblich reducirt.

Soll daher die Summe der Brennweiten und der Cornealradius dem schematischen Auge entsprechen, und sucht man aus diesen Werthen den Totalindex, die Axenlänge und die Brennweiten, so ist

$$F_1 + F_2 = S = 36{,}56871$$
$$F_2 - F_1 = r = 7{,}829$$

also auch $F_2 = S - F_1$

und $F_2 = r + F_1$

daher $S - F_1 = r + F_1$, woraus sich der Werth von F_1 ergibt

$$F_1 = \frac{S - r}{2} = \frac{36{,}5\,..\, - 7{,}829}{2} = 14{,}36985$$

daher $F_2 = F_1 + r = 22{,}19885$

und $\frac{n_2}{n_1} = \frac{F_2}{F_1} = 1{,}544.$

Man gelangt somit zu einem Totalindex, welcher noch über jenem des Glases steht, und zu einer Axenlänge $A = F_2$, welche unter jenem des Helmholtz'schen schematischen Auges steht. Wenn wir daher, wie es vom practischen Gesichtspuncte am wünschenswerthesten ist, den Totalindex des Auges finden wollen, dessen Radius und Axenlänge den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen, und wenn wir hiefür beispielsweise die Werthe des schematischen Auges annehmen, so wäre die Axenlänge $A = F_2 = 22{,}82361$

$$F_1 = A - r = 22{,}8\,..\, - 7{,}829 = 14{,}99461 = 15.$$

Daher ist der Totalindex dieses Auges

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{22{,}82361}{15} = 1{,}52157.$$

Dieser Index entspricht jenem des Glases, und wenn wir behufs bequemer Rechnung die Decimalen abrunden, und den für Glas allgemein angenommenen reducirten Index von $1{,}5 = {}^3/_2$ wählen, so dürfte es kaum bezweifelt werden können, dass sich

dieser Totalindex auch für die Aufstellung eines reducirten mittleren Auges empfiehlt.

Im Folgenden sind nun auf der Grundlage des Totalindex von $^3/_2$, des Radius von 7—8 und der Axenlänge von 21—24 eilf Formen emmetropischer Augen aufgestellt worden, und sind die vier Species ihrer Brennweiten (deren Addition, Subtraction, Multiplication und Division) ersichtlich gemacht. Die Summe repräsentirt deren Brennpunctsdistanz, die Differenz den Radius r, und der Quotient den Totalindex $n_2 = {}^3/_2 = \frac{F_2}{F_1}$.

$F_2 + F_1$	$F_2 - F_1$	$F_1 \; F_2$	$\frac{F_2}{F_1}$
35	7	294 . . .	$\frac{21}{14}$
35,5	7,1	302	$\frac{21,3}{14,2}$
36	7,2	311,04 . . .	$\frac{21,6}{14,4}$
36,5	7,3	319,74	$\frac{21,9}{14,6}$
37	7,4	328,56	$\frac{22,2}{14,8}$
37,5	7,5	337,5 . . .	$\frac{22,5}{15}$
38	7,6	346,56 . . .	$\frac{22,8}{15,2}$
38,5	7,7	355,74 . . .	$\frac{23,1}{15,4}$
39	7,8	365,04 . . .	$\frac{23,4}{15,6}$
39,5	7,9	374,46 . . .	$\frac{23,7}{15,8}$
40	8	384 . . .	$\frac{24}{16}$

Offenbar bietet in dieser Tabelle das Auge von $\frac{F_2}{F_1} = \frac{22,5}{15}$ mittlere und zugleich die günstigsten Werthe der Summe, Differenz, des Productes und Quotienten der Brennweiten. Die vordere Brennweite hat den von Donders eingeführten Werth von 15 mm und es ist also auch die Knotenpunctsdistanz = 15 und der Brechwerth = $^1/_{15}$ dem älteren reducirten Auge gleich. Die Brennpunctsdistanz ist um 0,9, das Product der Brennweiten um 16 und die hintere Brennweite um 1,781 grösser als im Helmholtz'schen schematischen Auge. Aber diess hat auf die Aenderung der Bildweite nur einen unerheblichen Einfluss, umsomehr, als ja, wie nachgewiesen wurde, das schematische Auge den Anspruch auf allgemeine Giltigkeit seiner optischen Constanten nicht haben kann. Selbst mit Rücksicht auf Donders reducirtes Auge, wo $F_2 = 20$ ist, ergeben sich mit unserem mittleren Auge nur geringe und unerhebliche Differenzen der Bildweite, indem diese erst bei einem Meter Distanz des Objectes für unser mittleres Auge um 0,038 grösser wird als im reducirten. Wenn man also auch mit einer ungerechtfertigten Scrupulosität an den Rechnungsresultaten des reducirten Auges festhalten wollte, so sind diese bei unserem mittleren Auge nahezu unverändert dieselben, dagegen bietet dasselbe den Vortheil, dass es sich zur Berechnung jeder Art refractorischer Anomalien besser eignet, indem dessen Cornealradius, Index und Axenlänge thatsächliche mittlere Werthe repräsentiren.

Allerdings können unter Umständen alle angeführten eilf emmetropische Augen als Grundlage der Entwickelung refractorischer Anomalien gewählt werden, und empfehlen sich namentlich hiefür die beiden Grenzaugen von $\frac{21}{14}$ und $\frac{24}{16}$ weil sie in keiner der vier Species Decimalen enthalten, daher die Rechnung mit denselben in der That ganz besonders bequem ist.

19. Die drei Arten von Refractionsfehlern.

Aus der Grundformel unseres mittleren Auges, wo $\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$ sich in $\frac{2}{f_1} + \frac{3}{f_2} = \frac{1}{7.5}$ verwandelt, ergibt sich, dass nur dann ein deutliches Bild auf der Netzhaut zu Stande komme, wenn die Objectferne $f_1 = \infty$ wird, weil dann die Bildweite $f_2 = 22.5$, also die Bildweite der Axenlänge A und ebenso gleich der hinteren Brennweite F_2 wird. Setzen wir in obige Formel für f_2 den Werth der Axenlänge A, so ist $\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{A} = \frac{n_2 - n_1}{r}$, und wenn $f_1 = \infty$ wird, bleibt $\frac{n_2}{A} = \frac{n_2 - n_1}{r}$, also für das mittlere Auge $\frac{3}{22.5} = \frac{1}{7.5}$.

Es hängt also die normale Funktion des Auges von drei Werthen ab: der Axenlänge, dem Radius der Cornea und dem Totalindex.

$$\text{Es ist die Axenlänge } A = \frac{n_2\, r}{n_2 - n_1} = 3 \times 7.5 = 22.5$$

$$\text{der Radius } \quad r = \frac{A\,(n_2 - n_1)}{n_2} = \frac{22.5}{3} = 7.5$$

$$\text{der Index } \quad n_2 = \frac{A}{A - r} = \frac{22.5}{15} = \frac{3}{2}.$$

Jede Abweichung von diesen Werthen ist ein Refractionsfehler, wenngleich, wie unsere Tabelle von 11 emmetropischen Augen lehrt, Compensationen einer Abweichung durch eine andere stattfinden können, und daher nicht immer sofort eine fehlerhafte Leistung der Gesammtfunktion des Auges sich ergeben muss. Ja, je zahlreicher die Bestimmungen der optischen Constanten emmetropischer Augen werden, eine umso grössere Mannigfaltigkeit von Compensationen tritt auch an denselben zu Tage. Um jedoch einen Einblick in die pathologischen Ver-

hältnisse zu gewinnen, müssen wir von dem bestimmten Falle eines mittleren Auges ausgehen, dessen Abweichungen sich demnach dreifach, und zwar als Indexfehler, Krümmungsfehler und Axenfehler darstellen lassen.

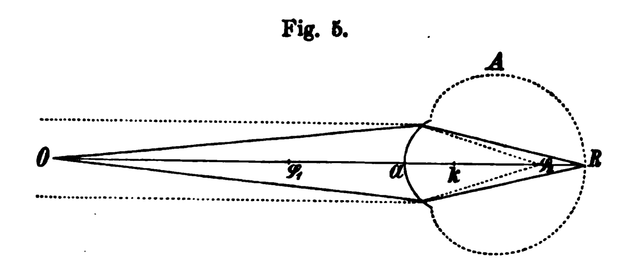
20. Die Krümmungsfehler des Auges.

Man berechnet Krümmungsanomalien am besten nach der Formel für die vordere Brennweite $F_1 = \frac{r}{n-1}$ welche für das mittlere Auge ist $\frac{7,5}{0,5} = 15$. Es kann nun der Radius entweder ab- oder zunehmen, während das Brechungsvermögen und die Axenlänge unverändert bleiben. Wenn der Radius abnimmt, entsteht Krümmungsmyopie, wenn er zunimmt, Krümmungshyperopie. Lassen wir den Radius von 6 bis 9 m/m zunehmen, während der Index unverändert $n = {}^3/_2$ und ebenso die Axenlänge $A = 22,5$ bleibt, und berechnen wir für diese Form die Werthe der Brennweiten, ihres Productes, sowie die Brennobjektferne l_1 und Brennbildweite l_2, ferner den Grad der zu Stande kommenden Myopie oder Hyperopie, so ist

r	F_1	F_2	$F_1 F_2$	l_2	l_1	f_1		
6	12	18	216	+ 4,5	48	60	Myopie	6
6,5	13	19,5	253	+ 3	84	97	„	9,7
7	14	21	294	+ 1,5	196	210	„	21
7,5	15	22,5	337,5	0	∞	∞	Emmetropie	
8	16	24	384	— 1,5	— 229	— 213	Hyperopie	21,3
8,5	17	25,5	433,5	— 3	— 144,5	— 127,5	„	12,7
9	18	27	486	— 4,5	— 108	— 90	„	9

Diese Tabelle erheischt eine Erläuterung.

Fig. 5.



a) Krümmungsmyopie *K M* (Fig. 5.)

Wenn das Auge von normaler Axenlänge ($A = 22{,}5$) und normalem Totalindex $^3/_2$ einen kleineren Krümmungsradius r als 7,5, beispielsweise jenen von $6\,^m/_m$ hat, dann berechnet sich:

die vordere Brennweite $\varphi_1\, a = F_1 = \frac{r}{n - 1} = \frac{6}{1{,}5 - 1} = 12$

die hintere Brennweite $a\, \varphi_2 = F_2 = F_1 + r = 12 + 6 = 18$

das Product der Brennweiten $F_1\, F_2 = 18 \times 12 = 216$

die Brennbildweite $l_2 = A - F_2 = 22{,}5 - 18 = 4{,}5$

die Brennobjectferne $l_1 = \frac{F_1\, F_2}{l_2} = \frac{216}{4{,}5} = 48$

die Objectferne $f_1 = l_1 + F_1 = 48 + 12 = 60$.

Ein paralleles, die Cornea treffendes Lichtbündel muss sich also in φ_2, somit 4,5 vor der Netzhaut vereinigen. Soll der Vereinigungspunct von Lichtstralen durch die Brechung der Cornea auf die Netzhaut fallen, dann muss das leuchtende Object o sich dem vorderen Brennpuncte φ_1 auf $48\,^m/_m$, demnach der Cornea a auf $60\,^m/_m$ nähern. Es muss also $o\varphi_1 = l_1 = 48$ und $oa = f_1 = 60\,^m/_m$ betragen, was in der ersten Zeile unserer Tabelle für den Radius von $6\,^m/_m$ nachgewiesen erscheint. Dieses Auge ist also kurzsichtig, myopisch, indem sein Fernpunct nicht in ∞, sondern in endlicher Ferne liegt. Bezeichnen wir nun die Myopie nach Centimetern des Fernpunctes, so hat für den Fall, wo der Radius $r = 6\,^m/_m$ ist, die Myopie den Grad von 6 Centimetern, wir haben eine Myopie *M* 6, und da es eine Krümmungsmyopie ist, *KM* 6.

Wenn man die Grundformel zur Berechnung des Grades von Krümmungsmyopie heranzieht, so ist für den Radius von 6 $^m/_m$ bei unveränderter Axenlänge und Totalindex

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{22{,}5} = \frac{1}{6}$$

daher $\frac{1}{f_1} = \frac{4{,}5}{270}$ und $f_1 = 60$.

Der Abstand des Knotenpunctes $k\,R$ von der Netzhaut ist im krümmungsmyopischen Auge von $r = 6$ offenbar $22{,}5 - 6 = 16{\cdot}5$, während er im normalen Auge $22{,}5 - 7{,}5 = 15$ beträgt.

Der Knotenpunct ist also von der Netzhaut um 1,5 abgerückt.

Eine Krümmungsmyopie von 6 Centimetern (2,2 Zoll) begründet offenbar eine der höchsten Formen der Myopie, indem das Auge nur jene Objecte deutlich zu sehen vermag, welche 2 Zoll vor dem Scheitel seiner Cornea stehen.

Fig. 6.

b) Krümmungshyperopie *KH* (Fig. 6).

Wenn ein Auge von normaler Axenlänge $A = 22{,}5$ und normalem Totalindex $^3/_2$ einen grösseren Krümmungsradius r als 7,5, beispielsweise jenen von 9 $^m/_m$ hat, dann berechnet sich

die vordere Brennweite $\varphi_1\, a = F_1 = \frac{r}{n - 1} = \frac{9}{0{,}5} = 18$

die hintere Brennweite $a\, \varphi_2 = F_2 = F_1 + r = 18 + 9 = 27$

das Brennweitenproduct $F_1\, F_2 = 18 \times 27 = 486$.

die Brennbildweite $l_2 = A - F_2 = 22{,}5 - 27 = -4{,}5$

die Brennobjectferne $l_1 = \varphi_1 o = \frac{F_1 F_2}{l_2} = \frac{486}{-4{,}5} = -108$

die Objectferne $f_1 = ao = l_1 + F_1$, und da l_1 negativ ist, wird $ao = F_1 - l_1 = 18 - 108 = -90$.

Ein paralleles, die Cornea treffendes Lichtbündel würde sich in q_2, also 4,5 hinter der Netzhaut R vereinigen. Soll der Vereinigungspunct der Stralen durch die Brechung der Cornea auf die Netzhaut fallen, dann muss das Object o gleichsam hinter die Cornea rücken, also negativ werden, d. h. es müssten convergirende Lichtstrahlen auf die Cornea auffallen, deren scheinbarer Ausgangspunct sich in o hinter der Cornea befindet. Dieser Punct o müsste für den Radius der Cornea von 9 $\frac{m}{m}$ in $o\varphi_1 = 108$ $\frac{m}{m}$ hinter dem vorderen Brennpuncte und in $oa = 90$ $\frac{m}{m}$ hinter der Cornea seine Lage haben.

Dieses Auge ist also übersichtig, hyperopisch, indem sein Fernpunct sich nicht in ∞, sondern in überunendlicher Ferne befindet, demnach negativ endlich ist.

Bezeichnen wir nun die Hyperopie nach Centimetern des Fernpunctes, so hat für den Fall, wo der Radius $r = 9$ ist, die Hyperopie den Grad von 9 Centimetern, wir haben eine Hyperopie *H 9*; und da es eine Krümmungshyperopie ist, *KH 9*.

Wenn man die Grundformel zur Berechnung des Grades der Hyperopie heranzieht, so ist für den Radius von 9 $\frac{m}{m}$ bei unveränderter Axenlänge und Index

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{22{,}5} = \frac{1}{9}$$

daher $$\frac{1}{f_1} = \frac{-4{,}5}{405} \text{ also } f_1 = -90 \tfrac{m}{m}.$$

Der Abstand des Knotenpunctes von der Netzhaut kR ist im krümmungshyperopischen Auge, wo $r = 9$ ist, offenbar

$A - r = 22{,}5 - 9 = 13{,}5$, während er im normalen Auge 15 beträgt. Der Knotenpunct liegt also der Netzhaut um 1,5 näher.

Eine Krümmungshyperopie von 9 ‰ (3,3 Zoll) begründet einen hohen Grad von H, welcher nur selten vorkommt. Es ist jedoch der durch Cataractoperation entstehende Linsenmangel (Aphakie) einer Krümmungshyperopie äquivalent, welche in der Regel um den Grad von H 9 steht.

21. Indexfehler des Auges.

Man berechnet diese Fehler, ähnlich den Krümmungsanomalien, am besten mit Hilfe der Gleichung für die vordere Brennweite $F_1 = \frac{r}{n - 1}$. Es kann das Brechungsvermögen n offenbar zunehmen oder abnehmen, während der Radius und die Axenlänge unverändert bleiben. Eine Zunahme des Brechungsvermögens bedingt Myopie, eine Abnahme Hyperopie.

Lassen wir den Index von $1{,}333 = {}^4/_3$ bis zu 1,625 zunehmen, während der Radius unverändert 7,5 und die Axenlänge 22,5 bleibt, und berechnen wir für acht Fälle den Werth der Brennweiten, ihres Productes, sowie die Brennobjectferne und Brennbildweite, ferner den Grad der zu Stande kommenden Myopie oder Hyperopie, so ist

n	F_1	F_2	F_1F_2	l_2	l_1	f_1		
1,333	22,5	30	675	— 7,5	— 90	— 67,5	Hyperopie	6,7
1,416	18	25,5	459	— 3	— 153	— 135	„	13,5
1,441	17	24,5	416	— 2	— 208	— 191	„	19,1
1,468	16	23,5	376	— 1	— 376	— 360	„	36
1,5	15	22,5	337,5	0	∞	∞	Emmetropie	
1,535	14	21,5	301	1	301	315	Myopie	31,5
1,553	13	20,5	266,5	2	133,2	146,2	„	14,6
1,625	12	19,5	234	3	78	90	„	9

Auch diese Tabelle erheischt eine Erläuterung.

a) Indexmyopie *IM.* (Fig. 5.)

Wenn das Auge von normaler Axenlänge $A = 22{,}5$ und normalem Krümmungsradius $r = 7{,}5$ eine Erhöhung des Brechungsvermögens von 1,5 beispielsweise auf 1,625 erfährt, so berechnet sich:

die vordere Brennweite $F_1 = \frac{r}{n - 1} = \frac{7{,}5}{0{,}625} = 12$
die hintere Brennweite $F_2 = F_1 + r = 12 + 7{,}5 = 19{,}5$
das Brennweitenproduct $F_1 \; F_2 = 12 \times 19{,}5 = 234$
die Brennbildweite $l_2 = A - F_2 = 22{,}5 - 19{,}5 = 3$
die Brennobjectferne $l_1 = \frac{F_1 \; F_2}{l_2} = \frac{234}{3} = 78$
die Objectferne $f_1 = l_1 + F_1 = 78 + 12 = 90$.

Ein paralleles, die Cornea treffendes Lichtbündel wird sich also in φ_2 somit 3 mm vor der Netzhaut vereinigen. Soll der Vereinigungspunct auf die Netzhaut fallen, dann muss das Object *o* sich dem vorderen Brennpuncte φ_1 auf 78 mm und dem Scheitel der Cornea *a* auf 90 mm nähern.

Dieses Auge ist also kurzsichtig, myopisch, indem sein Fernpunct nicht in ∞, sondern in 9 Centimeter Entfernung (3,3 Zoll) von dem Auge liegt. Bezeichnen wir wieder die Myopie nach Centimetern des Fernpunctes, so haben wir für den Fall, wo der Index = 1,625 ist, eine Myopie = *M* 9, und da es eine Index-Myopie ist, *IM* 9.

Zieht man die Grundformel zur Berechnung dieses Grades von *IM* heran, so ist für den Index *n* von 1,625 bei unveränderter Axenlänge *A* und Radius

$$\frac{1}{f_1} + \frac{n}{A} = \frac{n - 1}{r} \text{ also } \frac{1}{f} + \frac{1{,}625}{22{,}5} = \frac{0{,}625}{7{,}5}$$

daher $$\frac{1}{f} = \frac{1{,}875}{168{,}75} \text{ und } f_1 = 90.$$

Der Abstand des Krümmungsmittelpunctes *k R* von der Netzhaut ist nicht verändert. Aber wir haben eine Myopie von

9 %ₘ und es kann der Indexmyopie offenbar auch ein equivalenter Grad von Krümmungsmyopie substituirt werden.

Wir finden die äquivalente Krümmungsmyopie in der Grundgleichung. Suchen wir nemlich bei unveränderter Axenlänge und Index für den Fernpunct $f_1 = 90$ den zugehörigen Radius r, so ist

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{A} = \frac{1}{r} \text{ also } \frac{2}{90} + \frac{3}{22{,}5} = \frac{1}{r} \text{ woraus sich}$$

$$r = 6{,}4285 \text{ ergibt.}$$

Es ist also eine Abnahme des Radius von 7,5 auf 6,4285 einer Zunahme des Index von 1,5 auf 1,625 äquivalent, und daher gleichsam auch bei *IM* 9 eine Verschiebung des Knotenpunctes von 15 auf 15 + (7,5 — 6,4285) = 16,0715 gegeben.

b) Indexhyperopie *IH.* (Fig. 6.)

Wenn ein Auge von normaler Axenlänge $A = 22{,}5$ und Radius $r = 7{,}5$ eine Abnahme des Brechungsvermögens, z. B. von 1,5 auf 1,33 (also von $^3/_2$ auf $^4/_3$) erfährt, dann berechnet sich

die vordere Brennweite $F_1 = \frac{r}{n - 1} = \frac{7{,}5}{0{,}33} = 22{,}5$

die hintere „ $F_2 = F_1 + r = 22{,}5 + 7{,}5 = 30$

das Brennweitenproduct $F_1\ F_2 = 675$

die Brennbildweite $l_2 = A - F_2 = 22{,}5 - 30 = -7{,}5$

die Brennobjectferne $l_1 = \frac{F_1\ F_2}{l_2} = \frac{675}{-7{,}5} = -90$

die Objectferne $f_1 = l_1 + F_1$ und da l_1 negativ ist, wird $f_1 = F_1 - l_1 = 22{,}5 - 90 = -67{,}5$.

Ein paralleles, die Cornea treffendes Lichtbüschel würde sich in φ_2 also 7,5 hinter der Netzhaut vereinigen. Soll der Vereinigungspunct der Stralen auf die Netzhaut fallen, dann müsste das Object *o* gleichsam hinter die Cornea rücken, negativ werden, d. h. es müssten convergirende Stralen auf die Cor-

nea auffallen, deren scheinbarer Vereinigungspunct sich in o hinter der Cornea befindet. Dieser Punct müsste für den Index von $^4/_3$ in $o\varphi_1 = 90$ mm hinter dem vorderen Brennpuncte und in $oa = 67,5$ hinter der Cornea liegen.

Dieses Auge ist also übersichtig, hyperopisch, indem sein Fernpunct nicht in ∞, sondern in negativ endlicher Ferne liegt.

Bezeichnet man wieder die Hyperopie nach Centimetern des Fernpunctes, so ist für den obigen speciellen Fall, wo $f_1 = 6,75$ cm beträgt, die Hyperopie durch *H* 6,7 ausgedrückt, und da es eine Indexhyperopie ist: *IH* 6,7. Zieht man die Grundformel zur Berechnung des Grades der Indexhyperopie heran, so ist z. B. für den Index von $^4/_3$ bei unveränderter Axe von 22,5 und Radius von 7,5

$$\frac{3}{f_1} + \frac{4}{22,5} = \frac{1}{7,5} \text{ also } \frac{1}{f_1} = -\frac{7,5}{506,25} \text{ und } f_1 = -67,5.$$

Der Abstand des Krümmungsmittelpunctes k von der Netzhaut ist auch hier wie bei *KM* unverändert. Aber wir haben eine *H* 6,75 und es kann daher hiefür auch ein äquivalenter Grad von Krümmungshyperopie substituirt werden, um die Aenderung der Knotenpunctslage zu eruiren.

Wir finden die äquivalente *KH* in der Grundgleichung. Suchen wir nemlich für die unveränderte Axenlänge und den unveränderten Index, sowie für den Fernpunct von $-67,5$ mm den zugehörigen Radius, so ist

$$\frac{2}{-67,5} + \frac{3}{22,5} = \frac{1}{r} \text{ also } r = 9,642.$$

Es ist also eine Zunahme des Radius von 7,5 auf 9,642 einer Abnahme des Index von $^3/_2$ auf $^4/_3$ äquivalent, und daher bei obiger *IH* 6,75 eine Verschiebung des Knotenpunctes von 15 auf $15 - (9,642 - 7,5) = 12,858$, also eine Annäherung desselben an die Netzhaut um 2,142 mm gegeben.

Es geht aus den voranstehenden Erörterungen hervor, dass das Auge in seiner Refraction gegen Indexfehler sehr

empfindlich ist, und zwar empfindlicher als gegen Krümmungsfehler. Die Eruirung von Fehlern des Brechungsvermögens bietet in der Praxis allerdings grosse Schwierigkeiten. Das Auge besitzt mehrere Medien von differentem Index, und jedes derselben zeigt schon im physiologischen Zustande Schwankungen des Brechungsvermögens. So hat Chossat den Mittelwerth von n für den humor aqueus mit 1,338, Brewster mit 1,3366, W. Krause mit 1,342, Helmholtz mit 1,3365 bestimmt, und noch viel mehr weichen die Bestimmungen der einzelnen Schichten der Linse ab. Bei Betrachtung eines Totalindex des Auges kommt aber auch die Krümmung der Linse in Rechnung, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass auch diese manche physiologische Schwankungen darbiete, und dass die Annahme des Krümmungsradius der vorderen Kapsel von 10 und der hinteren von 6 $^m/_m$ ziemlich willkührlich ist. Aenderungen der Krümmung der Linse influiren entschieden auf den Totalindex des Auges, indem hiebei die Corneakrümmung und die Axenlänge unverändert bleiben können. Daher besteht im Grunde die Wirkung der Accommodation in einer temporären Indexänderung, für welche freilich die äquivalente Krümmungsänderung gesetzt werden kann. Ebenso ist auch Aphakie im Gegensatze zu Krümmungs- und Axenfehlern, eine Indexhyperopie.

22. Die Axenfehler des Auges.

Wenn im Auge der Index $n = {}^3/_2$ und der Krümmungsradius $r = 7{,}5$ unverändert bleiben, so ändern sich auch die Brennweiten nicht. Sobald aber die Axenlänge A entweder zu- oder abnimmt, fällt der hintere Brennpunct φ_2 nicht mehr mit der Netzhaut zusammen, und es muss sich für parallel auf die Cornea fallende Stralen im ersten Falle Axen-Myopie, im zweiten Axen-Hyperopie entwickeln.

Nehmen wir an, dass die Axenlänge A des Auges von 15 bis 30 $^m/_m$ zunehme, während der Index $= {}^3/_2$ und der Ra-

dius = 7,5 normal bleibt, die vordere Brennweite daher $F_1 = 15$ und die hintere $F_2 = 22,5$, das Brennweitenproduct $F_1\ F_2 = 337,5$ bleibt, so ergibt sich folgende Tabelle:

A	l_2	l_1	f_1		
15	— 7,5	— 45	— 30	Hyperopie	3
17,5	— 5	— 67,5	— 52,5	"	5,25
19,5	— 3	— 112,5	— 97,5	"	9,75
20,5	— 2	— 168,7	— 153,7	"	15,3
21,5	— 1	— 337,5	— 322,5	"	32,2
22	— 0,5	— 675	— 660	"	66,0
22,5	0	∞	∞	Emmetropie	
23	0,5	675	690	Myopie	69
23,5	1	337,5	352,5	"	35,2
24,5	2	168,7	183,7	"	18,3
25,5	3	112,5	127,5	"	12,75
27,5	5	67,5	72,5	"	7,25
30	7,5	45	60	"	6.

a) Axenmyopie *AM.* (Fig. 5.)

Wenn das Auge bei normalem Index, Radius und normalen Brennweiten eine Axenverlängerung l_2 z. B. von 7,5 mm, wie in der letzten Zeile obiger Tabelle ersichtlich, erfährt, so ist

die Axenlänge $A = 22,5 + 7,5 = 30$

die Brennbildweite $l_2 = A - F_2 = 30 - 22,5 = 7,5$

die Brennobjectferne $l_1 = \frac{F_1\ F_2}{l_2} = \frac{337,5}{7,5} = 45$

die Objectferne $f_1 = l_1 + F_1 = 60$.

Ein paralleles, die Cornea treffendes Lichtbündel muss sich also in φ_2, somit 7,5 mm vor der Netzhaut vereinigen. Soll der Vereinigungspunct der Lichtstralen auf die Netzhaut fallen, dann muss das leuchtende Object o sich dem vorderen Brennpuncte φ_1 auf 45 mm, und der Cornea a auf 60 mm nähern. Es muss also $o\varphi = l_1 = 45$ und $oa = f_1 = 60$ sein, was in der letzten Zeile unserer Tabelle nachgewiesen erscheint.

Bezeichnet man nun die Myopie nach Centimetern des Fernpunctes, so haben wir eine Axenmyopie *AM* 6.

Wird die Grundformel zur Berechnung des Grades der Axenmyopie herangezogen, so ist für eine Axenlänge $A = 30$ mm bei unverändertem Index und Radius

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{30} = \frac{1}{7,5} \text{ also } \frac{1}{f} = \frac{1}{15} - \frac{1}{20} = \frac{1}{60}$$

daher $f_1 = 60$.

Der Abstand des Knotenpunctes kR von der Netzhaut ist in diesem Auge $30 - 7,5 = 22,5$, während er im normalen Auge 15 beträgt. Er ist also von der Netzhaut um 7,5 abgerückt.

Eine reine Axenmyopie von 6 Centimetern (2,2 Zoll) gehört gleich der Krümmungsmyopie desselben Grades zu den seltensten Fällen, kommt aber doch ausnahmsweise vor.

Offenbar kann jedoch jede Axenmyopie durch Zunahme des Krümmungsradius der Cornea, durch Abflachung derselben theilweise oder vollständig compensirt werden. Soll in einem Auge von 30 mm Axenlänge eine vollständige Compensation stattfinden, demnach dasselbe für $f_1 = \infty$ eingestellt werden, so berechnet sich der compensirende Radius

$$\frac{2}{\infty} + \frac{3}{30} = \frac{1}{r} \text{ also } r = 10 \text{ mm}.$$

Es ist also eine Zunahme des Radius von 7,5 auf 10 mm, demnach um 2,5 hinreichend, um eine Axenmyopie von 6 cm vollständig zu corrigiren.

Der Brechwerth des Auges ist bei Axenmyopie unverändert $= {}^1/_{15}$ geblieben. Fragen wir daher, welche Aenderung des Brechwerthes gefordert werde, damit das Auge in ein emmetropisch functionirendes umgewandelt erscheine, so ist in obiger Gleichung

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{30} = \frac{1}{7,5} \text{ daher auch } \frac{1}{f_1} + \frac{1}{20} = \frac{1}{15}$$

und $$\frac{1}{20} = \frac{1}{15} - \frac{1}{f_1} = \frac{1}{15} - \frac{1}{60}$$

Das heisst: Der Brechwerth des axenmyopischen Auges von *AM 6*, welcher $1/_{15}$ beträgt, muss auf $1/_{20}$ sinken, damit dasselbe emmetropisch functioniren könne, und diess geschieht, wenn sein Brechwerth $1/_{15}$ um den Brechwerth $\frac{1}{f_1} = 1/_{60}$ vermindert wird, was, nebenbei gesagt, durch eine Zerstreuungslinse vom Brechwerthe $1/_{60}$ geschehen kann.

Die Axenmyopie unterscheidet sich von der Krümmungsmyopie dadurch, dass bei *AM* der normal gebliebene Brechwerth $\left(\text{durch eine Zerstreuungslinse } \frac{1}{f_1}\right)$ um den Brechwerth $\frac{1}{f_1}$ vermindert werden muss, damit das Auge normal functionire. Dagegen muss bei Krümmungsmyopie und ebenso bei Indexmyopie der pathologisch erhöhte Brechwerth $\left(\text{durch eine Zerstreuungslinse } \frac{1}{f_1}\right)$ bis auf den normalen vermindert werden, damit emmetropische Function eintrete.

b) Axenhyperopie *AH*. (Fig. 6.)

Wenn das Auge bei normalem Index, Radius und unveränderten Brennweiten eine Axenverkürzung l_2 z. B. von 7,5, wie in der ersten Zeile obiger Tabelle ersichtlich, erfährt, so ist die Axenlänge $A = 22{,}5 - 7{,}5 = 15$

die Brennbildweite $l_2 = A - F_2 = 15 - 22{,}5 = - 7{,}5$

die Brennobjectferne $l_1 = \frac{F_1 F_2}{l_2} = - \frac{337{,}5}{7{,}5} = - 45$

die Objectferne $f_1 = F_1 - l_1 = 15 - 45 = - 30$.

Ein paralleles, die Cornea treffendes Lichtbündel muss in φ_2 also 7,5 hinter der Netzhaut vereinigt werden. Soll der Vereinigungspunct in die Netzhaut fallen, dann müsste das leuch-

tende Object gleichsam nach o hinter die Netzhaut rücken, negativ werden, d. h. es müssten convergirende Stralen auf die Cornea gelangen, deren scheinbarer Ausgangspunct sich in o befindet. Dieser Punct o müsste für eine Axenhyperopie von 3 ℅ in $o\varphi_1 = l_1 = 45$ ℅ hinter dem vorderen Brennpuncte und in $oa = f_1 = 30$ ℅ Entfernung hinter dem Scheitel der Cornea sein.

Bezeichnet man nun die Hyperopie nach Centimetern des Fernpunctes, so haben wir eine Axenhyperopie *AH 3*.

Wird die Grundformel zur Berechnung des Grades der *AH* herangezogen, so ist für eine Axenlänge $A = 15$ ℅ bei unverändertem Index und Radius

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{15} = \frac{1}{7{,}5} \text{ also } \frac{1}{f_1} = \frac{1}{15} - \frac{1}{10}$$

daher $f_1 = -30$.

Der Abstand des Knotenpunctes *k R* von der Netzhaut ist in diesem Auge $15 - 7{,}5 = 7{,}5$, während er im normalen Auge 15 beträgt, er ist daher der Netzhaut um 7,5 genähert.

Eine reine Axenhyperopie von 3 Cm. (1,1 Zoll) kommt nicht wohl vor, und es ist dieser hohe extreme Grad hier nur im Vergleich zu der analogen Axenmyopie aufgeführt worden.

Jede *AH* kann durch Abnahme des Krümmungsradius der Cornea, also durch Zunahme der Wölbung derselben theilweise oder vollständig compensirt werden. Sollte in einem *AH* Auge von 15 ℅ Axenlänge eine vollständige Compensation durch den Cornealradius, demnach dessen Einstellung für eine Objectferne $f_1 = \infty$ ermöglicht werden, so berechnet man den compensirenden Radius r in der Grundgleichung

$$\frac{2}{\infty} + \frac{3}{15} = \frac{1}{r} \text{ also } r = 5.$$

Es ist also eine Abnahme des Radius von 7,5 auf 5, demnach um 2,5 ℅ hinreichend, um die excessive *AH 3* vollständig zu corrigiren.

Da der Brechwerth des Auges bei allen Formen reiner *AH* unverändert = $^1/_{15}$ geblieben ist, erhebt sich die Frage, welche Aenderung des Brechwerthes gefordert werde, damit ein solches Auge emmetropisch functioniren könne, und diese Frage wird abermals durch die Grundgleichung beantwortet. Es ist z. B. für ein Auge von 15 m/m Axenlänge

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{15} = \frac{1}{7{,}5}, \text{ daher auch } \frac{1}{f_1} + \frac{1}{10} = \frac{1}{15}$$

und $\frac{1}{10} = \frac{1}{15} - \frac{1}{f_1}$

da nun $f_1 = -30$, so ist

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{15} + \frac{1}{30}$$

Das heisst: Der Brechwerth der *AH 3*, welcher $^1/_{15}$ beträgt, muss auf $^1/_{10}$ erhöht werden, damit dasselbe emmetropisch functioniren könne, und diess geschieht, wenn sein Brechwerth $^1/_{15}$ um den Brechwerth $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{30}$ erhöht wird, was, nebenbei gesagt, durch eine Sammellinse erreicht werden kann.

Die *AH* unterscheidet sich von der Krümmungshyperopie dadurch, dass bei *AH* der normal gebliebene Brechwerth $\left(\text{durch eine Sammellinse } \frac{1}{f_1}\right)$ um den Brechwerth $\frac{1}{f_1}$ erhöht werden muss, damit Neutralisation der *H* eintrete, während bei *KH* und ebenso bei *IH* der pathologisch verminderte Brechwerth $\left(\text{durch ein Sammelglas } \frac{1}{f_1}\right)$ bis auf den normalen erhöht werden muss, um emmetropische Leistung zu erreichen.

Wenn man in obiger Tabelle die gleichen Grade von Axenverlängerung und Verkürzung mit einander vergleicht, so ergibt sich, dass bei denselben nicht gleiche Grade von *AM* und *AH* vorkommen, sondern die *AH* ist immer bedeutender

als die *AM*, und zwar beträgt die Differenz constant 3 ㎜, das ist die doppelte vordere Brennweite. Im Uebrigen zeigt sich auch bei Vergleichung der drei Tabellen, welche im Vorhergehenden für Krümmungs-, Index- und Axenfehler aufgestellt wurden, dass bei gleichem Werthe der Brennbildweite l_2, das ist bei gleichem Werthe der relativen Axenverlängerung oder Verkürzung sich nicht unerhebliche Differenzen der zu Stande kommenden Myopie und Hyperopie ergeben.

So wird z. B. für den Werth von $l_2 = \pm 3$

IM 9 *KM* 9,7 *AM* 12,75

IH 13 *KH* 12,7 *AH* 9,75.

Während also das Auge allgemein bei Index- und Krümmungsfehlern höhere Grade von Myopie erfährt, als bei Axenfehlern, ist das Umgekehrte bezüglich der Hyperopie der Fall.

23. Die Accommodation.

Es lässt sich aus der Grundgleichung des Auges entnehmen, dass, wenn bei wechselnder Objectferne f_1, die Bildweite f_2 constant bleiben, d. h. das Bild der Objecte immer auf die Netzhaut fallen soll, diess nur dann möglich ist, wenn sich für jeden Wechsel der Objectferne auch der Brechwerth des Auges ändert; und zwar muss der Brechwerth immer mehr erhöht werden, je näher die Objecte an das Auge heranrücken. Diese temporäre Aenderung des Brechwerthes, die Einleitung einer temporären Myopie, wird als willkürliche Accommodation bezeichnet, und kann auf eine Aenderung des Krümmungsradius zurückgeführt werden. Freilich ändert sich hiebei der Radius der Cornea eigentlich nicht, sondern es ändern sich die Radien der Linse, und mit dieser Curvenänderung geht demnach im Grunde eine solche des Totalindex des Auges einher. Aber für diese ist, wie oben gezeigt wurde, jene des Radius äquivalent, so dass man die Gleichung für die Accommodation des mittleren Auges folgend ansetzen kann:

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{22,5} = \frac{1}{r}$$

Es hängt somit der Werth des Radius r bei constantem Index von $^3/_2$ und constanter Axenlänge von 22,5 allein von der Objectferne f_1 ab. Dividirt man die Gleichung durch 2, so ist $\frac{1}{f_1} + \frac{1}{15} = \frac{1}{2\,r}$.

Es ist also behufs der Accommodation die Summe der reciproken Werthe von Objectferne und vordere Brennweite immer gleich dem reciproken Werthe des doppelten Radius, oder gleich dem jedesmaligen Brechwerthe oder:

Um sich für verschiedene Fernen zu accommodiren, muss das Auge seine Brechkraft von $^1/_{15}$ gleichsam um die Brechkraft einer Sammellinse erhöhen, deren Brennweite der Objectferne gleichkommt.

Wenn z. B. die Objectferne $f_1 = 100$ mm ist, so ist

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{15} = \frac{1}{13,04}$$

Die Erhöhung der Brechkraft von $\frac{1}{15}$ auf $\frac{1}{13}$ geschieht also dadurch, dass sich das Auge gleichsam eine Sammellinse $\frac{1}{100}$ zulegt, indem sich der Radius, da $\frac{1}{13,04} = \frac{1}{2\,r}$ ist, von 7,5 auf $\frac{13,04}{2} = 6,52$ verkürzt.

Wir sehen sofort, dass mit Erhöhung der Brechkraft, welche einer Verkürzung des Radius äquivalent ist, auch eine Verschiebung des Knotenpunctes nach vorn um mehr als 1 mm einhergeht.

Grenzen der Accommodation. Die Erhöhung des Brechwerthes des Auges durch die Accommodation muss offen-

bar eine endliche Grenze haben, sie kann nicht bis in's Unendliche fortgehen; denn die Linse ist ein physischer elastischer Körper, und ihre Krümmungsradien können nicht so weit abnehmen, dass sie schliesslich gleich Null würden. Desshalb muss auch die Abnahme der Objectferne f_1 behufs der Accommodation eine Grenze vor dem Auge haben, und kann niemals f_1 gleich Null werden, d. h. bis an den Cornealscheitel heranrücken. Anders ist diess bezüglich der Muskelthätigkeit, durch welche jene Aenderung des Brechwerthes beschafft wird. Diese kann von Null bis ∞ als steigend aufgefasst werden, und muss daher ihr Maximum (∞) erreichen, noch ehe $f_1 = o$ wird. Die musculare Thätigkeit steht also nicht im umgekehrten Verhältnisse zur Objectferne f_1, sondern in jenem zur Brennobjectferne l_1, und der Brechwerth des Auges ist bei Beginn der Accommodation niemals $= o$, sondern hat bereits den Werth von $^1/_{15}$, was dem reciproken Werthe der vorderen Brennweite entspricht.

Wir sind daher voll berechtigt, ja genöthigt, die ideelle Grenze der Accommodation im vorderen Brennpunct anzunehmen, das heisst: die Muskelanstrengung wird ein Maximum (∞), sobald das Object bis in den vorderen Brennpunkt $F_1 = 15$ heranrückt. Es ist dann auch die Brennobjectferne $l_1 = o$ und der Brechwerth wird

$$\frac{1}{15} + \frac{1}{15} = \frac{1}{7{,}5}$$

Die stärkste Linse, welche sich das mittlere Auge behufs der Accommodation zulegen kann, ist jene, deren Brechwerth dem Brechwerthe des ruhenden Auges von $^1/_{15}$ gleichkommt, und der kleinste äquivalente Krümmungsradius, welchen das Auge annehmen kann, beträgt die Hälfte des ursprünglichen $\frac{7{,}5}{2} = 3{,}75$.

Der theoretische Ausdruck für die Accommodationsquote Aq ist somit entschieden in der Brennpunctsgleichung $F_1 F_2 = l_1 l_2$ zu suchen, und es ist

$$Aq = \frac{F_1}{l_1} = \frac{l_2}{F_2}$$

Sonach wird die Accommodationsquote

$Aq = o$ wenn $l_1 = \infty$, denn es ist $\frac{15}{\infty} = o$

„ 1 „ $l_1 = 15$ „ $\frac{15}{15} = 1$

„ ∞ „ $l_1 = o$ „ $\frac{15}{o} = \infty$.

Die Accommodationsquote steht daher auch in directer Relation zur Grösse des Bildes, denn es ist, wenn β die Grösse des Objectes und β_1 die Grösse des Bildes bezeichnet (nach 15).

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{F_1}{l_1}, \text{ daher auch } Aq = \frac{\beta_1}{\beta}.$$

A c c o m m o d a t i o n s e i n h e i t. Das Mass oder Modul, die Einheit der Accommodation ist nach dem Voranstehenden die vordere Brennweite $F_1 = 15$. Die Accommodation A

$$A = \frac{l_1}{F_1}.$$

Früher galt die Zolllinse von 27 m/m als Accommodationseinheit, und wurde zugleich die Accommodationsgrenze im Knotenpuncte angenommen. Es war daher die Accommodationsquote $Aq = \frac{27}{f_1 + r}$ während sie nach unserer Annahme $\frac{15}{l_1}$ ist. In unserem mittleren Auge wird nach der älteren Annahme $Aq = 1$, wenn $f_1 = 19{,}5$ und $Aq = \infty$, wenn $f_1 = -7{,}5$. Daraus geht mit Bestimmtheit hervor, dass es nicht zulässig sei, den Knotenpunct als Accommodationsgrenze zu wählen, weil im emmetropischen Auge die Accommodation niemals einen positiven

Werth behalten kann, wenn die Objectferne f_1 negativ wird. Für diesen Fall müsste ja das Auge als brechendes System nicht nur verschwinden, sondern sogar negativ werden. Es geht aber ebenso wenig an, den Hauptpunct als Accommodationsgrenze zu wählen. Denn es müsste sodann die Accommodation ihr Maximum erreichen, wenn $f_1 = o$ wird. Das Auge müsste also seine Brechkraft bis zu dem Grade steigern können, dass es als brechendes System gleich Null, demnach verschwinden würde. Diess ist physisch unmöglich, und daher ebenso ein physiologischer Widerspruch, als die Annahme der Accommodationsgrenze im Knotenpunct.

Das Auge ist eben bei feststehendem Bau unter normalen Verhältnissen an positive Werthe der Objectferne und Bildweite gebunden, und negative Werthe können hier nicht gelten. Desshalb kann auch die Accommodation nicht durch eine negative Objectferne, welche es thatsächlich nicht gibt, und ebenso wenig durch eine negative Bildweite angeregt werden, welche Letztere sich ergeben würde, wenn das Object sich innerhalb der vorderen Brennweite befindet. Es sind nur die positiven Strecken der conjugirten Vereinigungsweiten $f_1 - F_1 = l_1$ und $f_2 - F_2 = l_2$, also die Brennobjectferne und Brennbildweite hier massgebend, und bilden das Bereich der Accommodation, und es ist daher auch die Brennweitengleichung $F_1 F_2 = l_1 l_2$ die allgemeine Asymptotengleichung für die gleichseitige Hyperbel, welche man als graphischen Ausdruck für die Accommodation discutiren kann.

Hier folgt eine Tabelle über die Werthe der Accommodationsquoten, welche verschiedenen Werthen der Objectferne f_1 in Millimetern entsprechen, mit gleichzeitiger Anführung des Brechwerthes B und des äquivalenten Krümmungsradius r, welche das mittlere Auge hiebei annimmt.

f_1	Aq	B	r
∞	0	$\frac{1}{15}$	7,5
10000	$\frac{1}{666}$	$\frac{1}{14,775}$	7,48
1000	$\frac{1}{65}$	$\frac{1}{14,778}$	7,38
352,5	$\frac{1}{22,5}$	$\frac{1}{14,3}$	7,15
165	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{13,75}$	6,87
105	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{13,1}$	6,5
90	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{12,8}$	6,4
75	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{12,5}$	6,25
60	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{12}$	6
45	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{11,25}$	5,62
30	1	$\frac{1}{10}$	5
15	∞	$\frac{1}{7,5}$	3,75

Refractorischer und accommodativer Nahpunct, Fernpunct.

Die Entfernung des fernsten Punctes, welchen das Auge deutlich wahrnimmt, vom Scheitel der Cornea, das ist vom Hauptpuncte des mittleren Auges, heisst Fernpunctsweite, und der fernste Punct selbst Fernpunct. Ebenso heisst die Entfernung des nächsten Punctes, welchen das Auge deutlich wahr-

zunehmen vermag, vom Cornealscheitel, Nahpunctsweite und der betreffende Punct Nahpunct.

Es wird gewöhnlich angenommen, dass sich im Fernpuncte die Accommodation in Ruhe befinde, von da an aber bis zum Nahpuncte das Gebiet ihrer Thätigkeit liege, und dass dieselbe im Nahpuncte den höchsten Grad ihrer individuellen Entwicklung erreiche. Diess ist jedoch nicht ganz richtig, denn für ein emmetropisches Auge ergibt sich das Bedürfniss der Accommodation erst dann, wenn ein Object bis auf beiläufig 10 Meter sich dem Auge nähert. Von ∞ bis 10 Meter ist das Auge im Stande, ohne Anspruchnahme der Accommodation deutlich zu sehen. Desshalb habe ich bereits früher («Die Grenzen der Accommodation.» Prag 1875. p. 24 ff.) urgirt, die refractorische und accommodative Leistung in Bezug auf Nah- und Fernpunct strenger als bisher auseinanderzuhalten. Der refractorische Fernpunct des Emmetropen liegt in ∞ und der refractorische Nahpunct kann mit 10 $^{m}/$ angenommen werden. Der refractorische Nahpunct ist zugleich der accommodative Fernpunct, weil das Bedürfniss der Accommodation erst in der Entfernung von 10 $^{m}/$ beginnt. Für die theoretische Betrachtung der Accommodation reicht es allerdings hin, den Beginn derselben, den accommodativen Fernpunct in ∞ anstatt in 10 $^{m}/$ anzunehmen, weil der Fehler bei Berechnung derselben denn doch nicht erheblich ist und nur $^{1}/_{666}$ beträgt. Aber für die Auffassung der Veränderungen der Accommodation, namentlich bei Hyperopie, der accommodativen Asthenopie und Accommodationslähmung ist der Unterschied nicht gleichgiltig. Der refractorische Fernpunct kann offenbar negativ werden, und gleichsam weit über ∞ herausrücken, während der accommodative Fernpunct immer noch einen endlichen Werth behält, und ferne Objecte ohne Anspruchnahme der Accommodation deutlich gesehen werden können, die Accommodation daher für die Betrachtung wechselnder endlicher Fernen nicht in Anspruch genommen werden muss. Nimmt

man an, dass die Accommodation in einer Objectferne $f_1 = \infty$ bereits ihren Anfangspunct hat, dann müsste bei completer Accommodationslähmung eines Emmetropen der Nahpunct bis an den Fernpunct nach ∞ hinausrücken, und das Auge könnte in keine endliche Ferne deutlich sehen. Fällt aber bei Accommodationsparalyse der Nahpunct mit dem refractorischen Nahpunct von beiläufig 10 $^m/$ zusammen, dann können solche Kranke Objecte von 10 $^m/$ Entfernung vollkommen scharf sehen, und auch in bedeutenderer Nähe leidet höchstens die Differenzirung kleinerer Objecte, Lesen und Schreiben wird nicht möglich sein. Diess findet auch im practischen Leben volle Bestätigung.

Accommodationsbreite. Die Differenz der Accommodationsquoten des Nah- und Fernpunctes heisst Accommodationsbreite $\frac{1}{A}$. Bezeichnen wir die *Aq* des Nahpunctes mit $\frac{1}{N}$ und jene des Fernpunctes mit $\frac{1}{R}$, so ist

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{N} - \frac{1}{F}$$

Für Emmetropie, wo $F = \infty$ ist, wird

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{N} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{N}$$

Hat also der Emmetrope z. B. den Nahpunct von 60 $^m/_m$, so ist

$$\frac{1}{A} = \frac{15}{60 - 15} - \frac{15}{\infty} = \frac{1}{3}$$

Für Myopie, wo F einen endlichen Werth hat, bleibt

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{N} - \frac{1}{F}$$

Hat also der Myope z. B. den Nahpunct von 60 und den Fernpunct von 120 $^m/_m$, so ist

$$\frac{1}{A} = \frac{15}{60 - 15} - \frac{15}{120 - 15} = \frac{1}{3} - \frac{1}{7} = \frac{1}{5,2}$$

Für Hyperopie, wo F einen negativen Werth hat, und N positiv bleibt, wird

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{N} - \left(- \frac{1}{F}\right) = \frac{1}{N} + \frac{1}{F}$$

Hat also der Hyperope $N = 120$ und $F = - 240$, so ist

$$\frac{1}{A} = \frac{15}{120 - 15} + \frac{15}{240 - 15} = \frac{1}{7} + \frac{1}{15} = \frac{1}{4{,}8}$$

Presbyopie. Der ideelle Maximalwerth der Accommodation (∞) für eine Objectferne von 15 m/m wird, conform jeder Muskelwirkung, von keinem Menschen thatsächlich erreicht, denn er würde die bis zum Zerreissen des Muskels gespannte Thätigkeit bedeuten. Selbst jugendliche Individuen vermögen kaum $\frac{1}{2} = 50$ Procent, meist bloss $\frac{1}{3} = 33$ Procent der Accommodation aufzubringen, was einem Sinken des Krümmungsradius des mittleren Auges von 7,5 auf 6 m/m oder einer Abnahme der Brennweite der Linse von 50 auf 40 m/m gleichkommt. Mit zunehmendem Lebensalter, und bei mangelnder Uebung der Accommodation nimmt die Accommodationsbreite mit Entfernung des Nahpunctes vom Auge immer mehr ab, indem sich nicht allein die Accommodationsmuskelkraft immer mehr involvirt, sondern auch die Elasticität der Linse geringer wird. Höhere Grade verminderter Accommodationsbreite werden gewöhnlich mit dem Namen Presbyopie bezeichnet und man hat versucht, diesen Zustand ziffermässig festzustellen, indem man jene Individuen presbytisch nannte, deren Nahpunct über 8—10 Zoll abgerückt ist, so dass sie in der gewöhnlichen Seh- oder Leseweite nicht mehr deutlich sehen. Die Accommodationsbreite desjenigen Emmetropen, dessen Nahpunct in 10 Zoll (270 m/m) liegt, wäre $\frac{15}{270 - 15} = \frac{1}{17} = 6$ Procent. Insofern aber eigentlich Niemand jemals die volle Accommodation, das ist 100 pCt. aufzubringen vermag, sind im Grunde alle Menschen pres-

bytisch. Eine genaue ziffermässige Grenze für den Beginn der Störungen des Nahesehens durch Abrückung des Nahepunctes vom Auge lässt sich mit Rücksicht auf die mannigfachen Complicationen von refractorischen und accommodativen Anomalien nicht wohl fixiren. Die gewöhnliche Annahme der Grenze der Presbyopie für den Nahpunctswerth von 27 $^{c}/_{m}$ stellt sich daher als eine trügerische heraus. Denn es könnten sodann Myopen unter dem Grade von *M* 27 gar nicht presbytisch werden, und doch muss die Accommodationsbreite derselben ebenso sinken können, wie bei anderen Individuen. Gerade bei Myopie beobachtet man namentlich schon vom 40. Lebensjahre an sehr hohe Grade von Accommodationsbeschränkung. Ein Myop meiner Beobachtung hat an beiden Augen den Fernpunct von 19 $^{c}/_{m}$ und den Nahpunct 16,5. Dessen Accommodationsbreite beträgt demnach $\frac{1}{72}$ nahe, und sein Nahpunct wird bei Benützung einer concaven den Fernpunct neutralisirenden Brille auf etwas über einen Meter herausgerückt.

Der Ausfall an Accommodationsbreite, die hochgradige Presbyopie macht sich daher bei Benützung der passenden Fernbrille in der empfindlichsten Weise behufs des Nahesehens geltend, während doch dieses myopische Auge ohne Brille in 7 Zoll Entfernung ohne Anstand zu lesen vermag, und daher nach der gewöhnlichen Annahme nicht presbytisch wäre!

24. Die Grössenwerthe des Auges in ihren Beziehungen zur Accommodation und zu Refractionsfehlern.

Wir haben oben (18) gesehen, dass, wenn man von der Annahme des Totalindex menschlicher Augen von $^{3}/_{2}$ ausgeht, und die Thatsache berücksichtigt, dass die Hornhautkrümmung verschiedener emmetropischer Augen zwischen 7 und 8 $^{m}/_{m}$ schwankt, man zu den Grenzwerthen der optischen Axen von

21—24 m/m gelange. Hieraus ergeben sich nun offenbar emmetropische Augen von verschiedener Grösse, deren Quotient der Brennweiten $\frac{F_2}{F_1}$ zwischen $\frac{21}{14}$ und $\frac{24}{16}$ liegt, daher die optische Axe des kleinen Grenzauges, welches den Radius 7 besitzt, 21, und jene des grossen Grenzauges, dessen $r = 8$ ist, 24 m/m beträgt. Das Product der Brennweiten des kleinen Grenzauges ist 294 und jenes des grossen 384. Das Kleine hat einen Brechwerth $\frac{1}{14}$ und das Grosse $\frac{1}{16}$.

Es ist leicht einzusehen, dass zwar alle innerhalb der erwähnten Grenzen stehende Augen, trotz des verschiedenen Brechwerthes, als emmetropische functioniren, also für parallele Stralen (∞) eingestellt sind: aber für endliche Fernen, für divergente Stralen, muss jedes derselben verschiedene Erscheinungen darbieten.

Die Ansprüche an die Accommodation und an die stereoscopische Sehfunction wechseln je nach dem Brechwerthe der differenten emmetropischen Augen.

So wird das kleine Grenzauge von $\frac{21}{14}$ erst bei 140 c/m Entfernung eines Objectes, allgemein ausgedrückt, $\frac{14}{1400} = 1$ % der Accommodation aufwenden müssen, das grosse von $\frac{24}{16}$ aber bereits bei 160 cm. Entfernung. $\left(\text{Genauer ist das Verhältnis } \frac{1}{91} : \frac{1}{86}\right)$.

Die Anspruchnahme an die Accommodation ist also für das grosse emmetropische Auge erheblich bedeutender als für das kleine, und kleinere Augen müssen daher als physiolo-

gisch begünstigte angesehen werden, weil sie dieselbe Leistung mit geringerer Arbeit aufbringen.

Nun ist es eine unläugbare Thatsache, dass das Auge der Kinder und Frauen allgemein kleiner ist, als jenes der Männer, wenngleich nicht ausgeschlossen ist, dass in einzelnen Fällen auch ein grösseres Frauenauge und ein solches von herangewachseneren Kindern einem kleineren Auge erwachsener Männer gegenüberstehen kann. Diese Fälle alteriren jedoch das allgemeine Gesetz ebensowenig, als zu besorgen steht, dass Weiber und Kinder dem Manne buchstäblich über den Kopf wachsen werden.

Es liegen allerdings bisher nur spärliche genauere vergleichende Messungen der Augen von Kindern, Frauen und Männern vor, und diese sind nicht in der Richtung der angeregten Frage angestellt worden, sondern beziehen sich mehr nur auf Messungen der Cornealradien von Kindern im 9—16. Lebensjahre. Es müssten offenbar zunächst Augen von Neugeborenen und Kindern in den ersten Lebensjahren, sowie solche von Frauen in diesen Beziehungen gemessen werden. Woinow hat behauptet, dass sich die Cornealradien der Kinder von jenen der Erwachsenen nicht wesentlich unterscheiden, und der Unterschied mehr nur in dem geringeren Abstand der diaphanen Medien zu suchen sei. Aber dann müssten ja solche Augen wegen deren sehr geringen Axenlänge excessiv hyperopisch sein! Im Uebrigen hat er nur einen Emmetropen von 9 Jahren, und zwei kindliche Hyperopen, welche hier auszuschliessen sind, untersucht. Mauthner fand bei einem E. von 14 Jahren den Cornealradius 7,09 und bei einem von 16 Jahren einen solchen von 7,39, wodurch einigermassen bestätigt wird, dass die Radien mit den Lebensjahren zunehmen. Auch Reuss glaubt, dass die kleinsten Radien den jüngsten Individuen entsprechen, obgleich ihm nur eine Messung bei einem 12jährigen Mädchen vorlag. Er hält übrigens diese Frage für eine offene. Wenn nun auch, namentlich

bei Neonaten und jüngeren Kindern zahlreichere Messungen der Augen überhaupt noch fehlen, so braucht man doch nur näherungsweise Messungen, namentlich bei Neugeborenen vorzunehmen, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dass bei ihnen sowohl Cornealradien als Axenlängen entschieden kleiner sind, und allmälig mit dem Wachsthume zunehmen. Ich fand bei einem Neugeborenen die Axe 18 und den Cornealradius 6,06 und wir dürften überhaupt kaum fehlen, wenn wir den Mittelwerth des Cornealradius bei Neonaten mit 6, bei Frauen mit 7,25 und bei Männern mit 7,5 annehmen. Es wäre dann bei dem Totalindex von $^3/_2$ der Mittelwerth der optischen Axe für Neonaten 18, für Frauen 21,75 und für Männer 22,5.

Das Gesetz der Variabilität der optischen Constanten bei den verschiedenen Individuen, Alters- und Geschlechtsformen, ist geeignet, unsere Anschauungen in Betreff der Ametropie (Refractionsfehler) nicht unwesentlich zu beeinflussen, indem es lehrt, dass verschiedene, von den mittleren Werthen abweichende Constanten sich zu einem harmonischen physiologischen Resultate vereinigen können. Darauf wurde zum Theile bereits bei Erörterung der drei Arten von Refractionsfehlern hingedeutet. Es kann bei einem grossen Cornealradius und beträchtlicher Axenlänge Emmetropie vorkommen, weil die Anomalie des einen durch jene der anderen compensirt wird. Aber auch bei grossem Radius und kleiner Axe kann durch Erhöhung des Werthes des Index z. B. durch stärkere Linsenkrümmung, Compensation zu Emmetropie stattfinden. So ist es also erklärlich, dass ein grosser Cornealradius zwar allgemein zu Krümmungshyperopie führe, aber es kann in solchen Fällen selbst Axenmyopie vorkommen, wenn die Axe gleichzeitig übermässig verlängert ist.

Es wäre daher wünschenswerth, in jedem Falle von Ametropie nicht nur den Cornealradius, sondern auch die Axenlänge und den Totalindex zu kennen, ehe man sich darüber ausspricht, mit welcher Art von Refractionsstörung man es zu thun

habe. Leider fehlen bisher die Mittel, um bei Lebenden alle drei zusammenwirkende Factoren mit einiger Verlässlichkeit zu bestimmen, und nur die Messung des Cornealradius ist ohne Schwierigkeit möglich.

Wenn Donders die, damals frappante Beobachtung gemacht hat, dass bei Myopen durchschnittlich grosse Cornealradien vorkommen, jedenfalls die Cornea nicht convexer sei, als bei Emmetropen: so hat anderntheils Reuss bei Myopen die Cornealradien von 6,9 — 8,03 gemessen, also ebensowohl sehr kleine als die grössten Radien gefunden, und es ist damit die Forderung der Theorie evident bestätigt worden.

Es müssen also, bei den verschiedenen ursprünglichen Grössenwerthen der Augen gleiche Aenderungen der Axe, des Index oder Radius doch von sehr verschiedenen Formen der Ametropie und umgekehrt begleitet sein.

Soll nemlich ein Auge von $\frac{21}{14}$ und eines von $\frac{24}{16}$ eine gleiche Axenmyopie *AM* 30 cm. erfahren, so ist im ersten Falle $\frac{2}{300} + \frac{3}{A} = \frac{1}{7}$ und im zweiten $\frac{2}{300} + \frac{3}{A} = \frac{1}{8}$ also im ersten Falle die Axenlänge $A = 22{,}02$ und im zweiten 25,35. Das Auge von $\frac{21}{14}$ hat sich also um 1,02, das Auge von $\frac{24}{16}$ um 1,35 verlängern müssen, damit derselbe Grad von *AM* zu Stande komme.

Wenn anderntheils in den beiden Grenzaugen eine gleiche Axenverlängerung l_2 um 1 m/m stattfindet, so wird im kleinen Grenzauge $l_1 = \frac{294}{l_2} = 294$ und im grossen $l_1 = \frac{384}{1}$ und es beträgt die *AM* des kleinen Auges $294 + 14 = 30{,}8$ cm. und des grossen $384 + 16 = 40$ cm. Der Unterschied ist also nahe 10 cm. oder 3,5 Zoll.

Soll das Auge von $\genfrac{}{}{0pt}{}{21}{14}$ und jenes von $\genfrac{}{}{0pt}{}{24}{16}$ eine Krümmungsmyopie von 30 cm. erfahren, so ist im ersten Auge

$$\frac{2}{300} + \frac{3}{21} = \frac{1}{r} \text{ und im zweiten } \frac{2}{300} + \frac{3}{24} = \frac{1}{r}$$

also im ersten Falle $r = 6{,}61$, im zweiten $r = 7{,}5$.

Der Radius hat im ersten Auge um 0,39 und im zweiten um 0,5 abgenommen.

Wenn dagegen in beiden Augen die gleiche Krümmungsabnahme um 1 $^m/_m$ stattfindet, und wir fragen nach dem Grade der Myopie, so ist im ersten Falle

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{21} = \frac{1}{6} \text{ und im zweiten } \frac{2}{f_1} + \frac{3}{24} = \frac{1}{7}$$

daher im ersten $f_1 = 84$ und im zweiten $f_1 = 112$.

Die Myopie des kleineren Auges wird also um nahe 3 cm. bedeutender.

Daraus ergibt sich, dass kleinere Augen allgemein sowohl gegen Axen- als Krümmungsänderungen empfindlicher sind, als grosse. Dagegen ist ihre Disposition zur Entwickelung, namentlich von Axenmyopie geringer, indem sie, wie oben erwähnt, in Bezug auf Verwendung der Accommodation und Convergenzbewegung allgemein unter die begünstigten gehören, daher auch bei ihnen Zerrungen des optischen Nerven bei Lateralbewegungen, welche die Entwickelung von Axenverlängerungen bedingen, nicht so leicht stattfinden.

25. Die sphärische Brille.

Wenn man die unbeträchtliche Dicke der Brillengläser vernachlässigt, so tritt lediglich das Brechungsvermögen n des Glases und die Krümmung der beiden Oberflächen r_1 und r_2 in die Rechnung. Die Brennweite p des Brillenglases kann dann in doppelter Weise ausgedrückt werden:

Es ist der inverse Werth der Brennweite (der Brechwerth) des Glases gleich der Summe der inversen Werthe der beiden Radien, multiplicirt mit dem um die Einheit verminderten Brechungsvermögen. Denn es ist bei Summirung der Grundgleichungen für die Brechung der beiden Oberflächen der Linse allgemein:

$$\frac{1}{p} = \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) n - 1.$$

Es ist aber auch der Brechwerth des Glases ausgedrückt durch die Summe der inversen Objectferne f_1 und Bildweite f_2:

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

a) Die Krümmungsradien der beiden Oberflächen bestimmen die Wirkung der Brillengläser, welche entweder in Sammlung oder Zerstreuung der Lichtstralen besteht. Desshalb unterscheidet man collective oder Sammelgläser und dispansive oder Zerstreuungsgläser. Die Sammelgläser werden auch als positiv bezeichnet, weil die durch dieselben erzeugten Bilder wirklich, reell hinter dem Glase zu Stande kommen. Dagegen nennt man die Zerstreuungsgläser negative, weil durch dieselben keine reellen, sondern imaginäre, virtuelle Bilder vor dem Glase entstehen. Die Brennweite der Sammelgläser ist positiv, jene der Zerstreuungsgläser negativ. Ferner wird auch die convexe Oberfläche der Gläser mit dem + Zeichen und die concave mit — bezeichnet.

Als Sammelgläser wirken die sphärischen Brillen: wenn die beiden Radien convex sind, weil dann positive Werthe sich summiren. Sei $r_1 = 4$ und $r_2 = 6$ und $n - 1 = {}^3/_2 - 1 = \frac{1}{2}$ also

$$\frac{1}{p} = \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) n - 1, \text{ daher } \frac{1}{p} = \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{6}\right) \frac{1}{2} = \frac{1}{4{,}8}$$

Wenn ein Radius convex, der andere plan (∞) ist

$$\frac{1}{p} = \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{\infty}\right) n - 1, \text{ daher } \frac{1}{p} = \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{\infty}\right) \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$$

wenn ein Radius convex +, der andere concav —, aber der convexe stärker gekrümmt ist, einen kleineren Radius hat, als der concave

$$\frac{1}{p} = \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \text{ also } \frac{1}{p} = \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{6}\right) \frac{1}{2} = \frac{1}{24}$$

Als Zerstreuungsgläser wirken die Brillen, wenn die beiden Radien concav sind, weil negative Werthe sich summiren

$$\frac{1}{p} = -\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) n - 1, \ \frac{1}{p} = -\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{6}\right) \frac{1}{2} = -\frac{1}{4{,}8}$$

Wenn eine Oberfläche concav, die andere plan ist

$$\frac{1}{p} = \left(-\frac{1}{r_1} - \frac{1}{\infty}\right) n - 1 \quad \frac{1}{p} = -\frac{1}{4} \times \frac{1}{2} = -\frac{1}{8}$$

Wenn eine Oberfläche concav, die andere convex ist, aber die concave einen kleineren Radius hat

$$\frac{1}{p} = \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) n - 1, \ \frac{1}{p} = \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{4}\right) \frac{1}{2} = -\frac{1}{24}$$

b) Das Brechungsvermögen n gewöhnlichen Glases wird mit $^3/_2$ oder 1,5 angenommen, daher in obigen Formeln $^3/_2 - 1 = ^1/_2$. Aber die meisten Brillengläser haben thatsächlich einen etwas höheren Index 1,52; ja wenn die Gläser aus Spiegelglas geschliffen werden, erreicht der Index oft 1,56. Bei Bergkrystallbrillengläsern kann $n = 1{,}8$ sein. Diamant hat sogar das Brechungsvermögen 2,44.

Wenn $n = 1{,}8$ ist, so wäre in obigen Beispielen allenthalben die Multiplication, anstatt mit $\frac{1}{2}$, mit $\frac{8}{10} = \frac{4}{5}$ durchzuführen. Es wird also z. B.

$$\left(\frac{1}{4} + \frac{1}{6}\right) \frac{1}{2} = \frac{1}{4{,}8} \text{ und } \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{6}\right) \frac{4}{5} = \frac{1}{3}$$

Die Brennweite verkürzt sich somit sehr erheblich bei denselben Krümmungsradien, wenn der Index des Glases zunimmt. Bei stärkerem Index können demnach die Gläser eine geringere Krümmung haben, was von einigem Vortheile ist, indem sodann die sphärische Aberration geringer wird.

c) Gang des Lichtes durch Brillengläser. Wenn man obigen Ausdruck der Brennweite durch den inversen Werth der Summe der beiden conjugirten Vereinigungsweiten f_1 und f_1 in Betrachtung zieht, so ist

für Sammelgläser die inverse Brennweite $\frac{1}{p} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$

die Bildweite $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{p} - \frac{1}{f_1}$

die Objectferne $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p} - \frac{1}{f_2}$

Beträgt die Brennweite p des positiven Glases 15 $^m/_m$ und die Objectferne f_1 45 $^m/_m$, so ist die Bildweite $f_2 = 22{,}5$, also

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{45} + \frac{1}{22{,}5} = \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{15} - \frac{1}{45} = \frac{1}{22{,}5}$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{15} - \frac{1}{22{,}5} = \frac{1}{45}$$

Für Zerstreuungsgläser ist die inverse Brennweite

$$-\frac{1}{p} = -\left(\frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}\right)$$

die Bildweite $-\frac{1}{f_2} = -\left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{p}\right)$

die Objectferne $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{p}$

Wenn daher die Brennweite — 15 und die Objectferne + 45 beträgt, so ist die Bildweite 11,25; denn

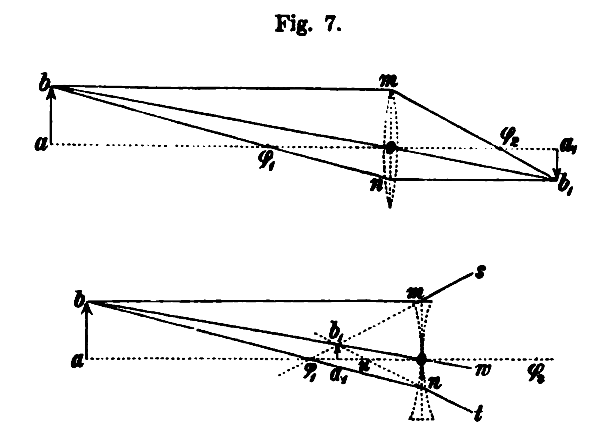
$$-\frac{1}{p} = \frac{1}{45} - \frac{1}{11,25} = -\frac{1}{15}$$

$$-\frac{1}{f_2} = -\left(\frac{1}{45} + \frac{1}{15}\right) = -\frac{1}{11,25}$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{11,25} - \frac{1}{15} = \frac{1}{45}$$

Somit lässt sich der Gang des Lichtes durch Brillengläser construiren (Fig 7).

Fig. 7.



S a m m e l g l ä s e r. Vom Objecte *ab*, zunächst vom Grenzpuncte *b* desselben geht ein mit der Axe aa_1 paralleler Stral *bm* zur Linse, welcher in *m* nach dem hinteren Brennpuncte φ_2 gebrochen wird, von wo er nach b_1 weiter geht.

Ein zweiter, von *b* ausgehender Stral *bo*, der Richtungsstral, geht durch den optischen Mittelpunct *o* der Linse ungebrochen nach b_1 fort. Ein dritter von *b* ausgehender Stral *bn* geht durch den vorderen Brennpunct φ_1 nach *n* und wird daselbst parallel der Axe nach b_1 gebrochen. In b_1 ist das umgekehrte, reelle Bild von b_1 und im Fusspuncte von b_1 in a_1 das Bild von *a*. — Hat also die gleichseitige Linse, wie in unserer Figur die Brennweite von 15 $^{m}/_{m}$, und ist die Objectferne

$ao = 45\,^{m}\!/\!_{m}$, so ist die Bildweite $oa_1 = 22{,}5$. Die Bildgrösse $a_1 b_1$ berechnet sich (nach 15)

$$\frac{a_1 b_1}{ab} = \frac{12{,}5}{45} = \frac{1}{2}$$

Zerstreuungsgläser. Vom Objecte ab, zunächst vom Puncte b geht ein mit der Axe paralleler Stral bm zur Linse, welcher nach ms von der Axe weggebrochen wird.

Verlängert man ms nach vorn, so schneidet er in φ_1 im vorderen Brennpunct die Axe ao. Ein zweiter von b ausgehender Stral bo, der Richtungsstral, geht ungebrochen durch den optischen Mittelpunct o der Linse nach w fort. Er schneidet den Stral $sm\varphi_1$ in b_1. Ein dritter von b ausgehender Stral bn wird von n nach t von der Axe weggebrochen, seine Verlängerung nach vorn $tnub_1$ schneidet die Axe in u, und geht nach b_1, wo die sämmtlichen drei Stralen zusammentreffen. In b_1 ist das aufrechte, virtuelle Bild von b, und in dessen Fusspuncte a_1 das Bild von a. Hat die Linse, wie in unserer Figur die negative Brennweite $\varphi_1 o = 15\,^{m}\!/\!_{m}$, und ist die Objectferne $ao = 45$, so ist die Bildweite $a_1 o = -11{,}25$. Die Grösse des Bildes $a_1 b_1$ ist

$$\frac{a_1\, b_1}{ab} = \frac{11{,}25}{45} = \frac{1}{4} \text{ der Grösse des Objectes.}$$

26. Das Auge und die Brille — das Brillenauge B.

Einfluss sphärischer Brillen auf das emmetropische Auge. Die Wirkung von Brillen besteht zunächst in einer Aenderung der Brechkraft des Auges, womit auch eine solche der Brennweiten, des Knotenpunctes, der Bildgrösse, des Nah- und Fernpunctes, und der Accommodation einhergeht, so dass man das Brillenauge als ein neues Auge auffassen kann, in welchem, da der Index und die Axenlänge keine Aenderung erfährt, der Radius sich verwandelt hat.

α) Aenderung der Brechkraft. Wir haben oben (5) gesehen, dass die Brechkraft des mittleren emmetropischen Auges $\frac{1}{15}$ ist. Wenn nun dieses Auge mit einer Brille in Verbindung gebracht wird, und man annimmt, dass dieselbe dem Auge sehr nahe stehe, so dass die Distanz vernachlässigt werden kann, und die Hauptpuncte von Brille und Auge gleichsam zusammenfallen: dann wird die Brechkraft des Auges einfach durch Sammellinsen um die Brechkraft derselben erhöht, durch Zerstreuungslinsen um deren Brechkraft vermindert. Es ist also, wenn die Brechkraft der Linsen durch $\frac{1}{p}$ ausgedrückt wird, und die durch die Combination entstehende Brechkraft des Auges $\frac{1}{B}$ ist, wenn die Brennweite des Glases mit 200 mm angenommen wird, für Sammellinsen

$$\frac{1}{15} + \frac{1}{p} = \frac{1}{B} \text{ also } \frac{1}{15} + \frac{1}{200} = \frac{1}{13{,}953}$$

für Zerstreuungsgläser

$$\frac{1}{15} - \frac{1}{p} = \frac{1}{B} \text{ also } \frac{1}{15} - \frac{1}{200} = \frac{1}{16{,}216}.$$

β) Aenderung der Brennweiten und des Krümmungsradius des Auges durch Brillen. Der Brechwerth jedes Auges ist gleich dem reciproken Werthe der vorderen Brennweite F_1. Für den Index von $\frac{3}{2}$ ist aber auch die vordere Brennweite gleich dem doppelten Radius r, und die hintere F_2 gleich dem dreifachen Radius. Das durch obige Brillengläser von $\frac{1}{200}$ Brechwerth verwandelte System des Auges hat also für das Sammelglas $r = 6{,}976$, $F_1 = 13{,}953$, $F_2 = 20{,}928$, für das Zerstreuungsglas

$r = 8{,}108$, $F_1 = 16{,}216$, $F_2 = 24{,}324$.

Da nun das mittlere Auge eine Axenlänge von 22.5 hat, so fällt für die Bewaffnung mit der Sammellinse der hintere Brennpunct um 22.5 — 20.928 = 1.572 vor die Netzhaut, und das Auge ist gleichsam in ein krümmungsmyopisches vom Radius 6.976 verwandelt. — Für die Bewaffnung mit der Zerstreuungslinse fällt der hintere Brennpunct um 24.324 — 22.5 = 2.124 hinter die Netzhaut, und das Auge ist gleichsam in ein krümmungshyperopes vom Radius 8.108 verwandelt.

γ) Aenderung des Knotenpunctes. Die Aenderung des Krümmungsradius des neuen Systems bedingt auch eine entsprechende Aenderung des Knotenpunctes. Für die Sammellinse verkürzt sich in unserem Beispiele der Radius von 7.5 auf 6.976. Dessen Abstand von der Netzhaut beträgt daher 22.5 — 6.976 = 15.524. Für die Zerstreuungslinse verlängert sich der Radius des Auges von 7.5 auf 8.108, und der Abstand des Knotenpunctes von der Netzhaut beträgt 22.5 — 8.108 = 13.392.

δ) Aenderung des Nah- und Fernpunctes. Wenn man mit N den Nahpunct und mit R den Fernpunct des unbewaffneten Auges, ferner mit N_1 und R_1 den Nah- und Fernpunct des Brillenauges bezeichnet, so ist für die Bewaffnung mit Sammelgläsern offenbar

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{p} = \frac{1}{R_1} \text{ und } \frac{1}{N} + \frac{1}{p} = \frac{1}{N_1}$$

wenn also das Auge des Emmetropen, dessen Fernpunct $R = \infty$ und Nahpunct $N = 10$ cm beträgt, mit einer Sammellinse von 20 cm Brennweite bewaffnet wird, so wird der inverse Fernpunct $\frac{1}{R_1}$ des Brillenauges $\frac{1}{\infty} + \frac{1}{20} = \frac{1}{20}$ und der inverse Nahpunct $\frac{1}{N_1} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} = \frac{1}{6.6}$. Der Fernpunct rückt also von ∞ in die Brennweite der Brille

und der Nahpunct verkürzt sich von 10 auf 6,6 %. Für die Bewaffnung mit Zerstreuungsgläsern ist

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{p} = \frac{1}{R_1} \text{ und } \frac{1}{N} - \frac{1}{p} = \frac{1}{N_1}$$

Wird also bei den obigen Werthen des Fern- und Nahpunctes eine Zerstreuungslinse von 20 % gewählt, so ist der inverse Fernpunct des Brillenauges $\frac{1}{\infty} - \frac{1}{20} = -\frac{1}{20}$ und der inverse Nahpunct $\frac{1}{10} - \frac{1}{20} = \frac{1}{20}$.

Der Fernpunct wird also negativ und der Nahpunct rückt von 10 auf 20 % heraus; das Auge ist in ein hyperopisch-presbytisches umgewandelt.

Offenbar kann durch die unmittelbar am Auge stehende Brille die Accommodationsbreite des Auges, welche $\frac{1}{10}$ beträgt, in keinem Falle geändert werden, denn es bleibt für das Sammelglas $\frac{1}{A} = \frac{1}{6{,}6} - \frac{1}{20} = \frac{1}{10}$ und für das Zerstreuungsglas $\frac{1}{A} = \frac{1}{20} + \frac{1}{20} = \frac{1}{10}$. Aber das Accommodationsgebiet wird durch Sammellinsen eingeengt, durch Zerstreuungslinsen erweitert, und zugleich vom Auge abgerückt. Hiedurch wird namentlich der Gebrauch von Concavlinsen für manche ältere und asthenopische Individuen zu einem schwierigen Problem, indem von ihnen weder die Erweiterung des Accommodationsgebietes noch die Steigerung der Presbyopie vertragen wird.

ε) Abstand der Brille vom Auge. Bisher wurde vorausgesetzt, dass das Brillenglas dem Auge sehr nahe, eigentlich in dessen Hauptpuncte stehe. Ist diess, wie gewöhnlich, nicht der Fall, dann muss der Abstand *d* in

Rechnung gebracht, und sowohl für Convex- als Concavgläser vom Nah- und Fernpunctswerthe abgezogen werden. Beträgt die Brennweite der Brille 20 %, die Distanz 1,5 % und sei der Nahpunct wie oben 10 und der Fernpunct $= \infty$, so ist für Sammelgläser der Fernpunct

$$\frac{1}{R-d} + \frac{1}{p} = \frac{1}{R_1 - d} \text{ und der Nahpunct } \frac{1}{N-d} + \frac{1}{p} = \frac{1}{N_1 - d}$$

daher der Fernpunct des Brillenauges

$$\frac{1}{\infty - 1{,}5} + \frac{1}{20} = \frac{1}{20}$$

und der Nahpunct desselben $\frac{1}{10 - 1{,}5} + \frac{1}{20} = \frac{1}{5{,}96}$.

Der letztere inverse Nahpunctswerth des Brillenauges von nahe 6 % bezieht sich auf den Abstand desselben von der Brille, und muss daher dieser Abstand von 1,5 hinzugerechnet werden, um den wahren Abstand von der Cornea zu finden. Der Nahpunctswerth des Brillenauges beträgt also $5{,}96 + 1{,}5 = 7{,}46$.

Für Zerstreuungsgläser ist der Fernpunct R_1 des Brillenauges für obige angenommene Werthe

$$\frac{1}{R - d} - \frac{1}{p} = \frac{1}{R_1 - d}$$

und der Nahpunct N_1 $\frac{1}{N - d} - \frac{1}{p} = \frac{1}{N_1 - d}$

also der Fernpunct $\frac{1}{\infty - 1{,}5} - \frac{1}{20} = \frac{1}{20}$

und der Nahpunct $\frac{1}{10 - 1{,}5} - \frac{1}{20} = \frac{1}{14{,}78}$.

Auch hier muss der Abstand von der Cornea zu 14,78 hinzugerechnet werden, um den eigentlichen geänderten Nahpunctswerth zu finden. Derselbe ist also $14{,}78 + 1{,}5 = 16{,}28$. Man sieht, dass in der That bei stärkeren Gläsern, wo der Abstand der Brille vom Auge eine erhebliche Aenderung des Rechnungsresultates herbeiführt, eine Vernachlässigung desselben

nicht zulässig ist, vorzüglich mit Rücksicht auf die Aenderung des Nahpunctes. In unserem Beispiele beträgt der Unterschied der Nahpunctsänderung für Convexgläser von $\frac{1}{20}$, bei Emmetropen allerdings blos 0,8 ‰, für Concavgläser aber bereits 3,7 ‰.

27. Das axenmyopische Brillenauge. *(AMB.)*

α) Aenderung der Brechkraft des axenmyopischen Auges durch sphärische Zerstreuungsgläser.

Im mittleren *AM* Auge ist die Brechkraft $\frac{1}{15}$ unverändert geblieben, aber die Axenlänge hat zugenommen. Es wurde nun oben (22) nachgewiesen, dass jede Axenmyopie durch Verminderung der normalen Brechkraft in Emmetropie übergehen könne, und zwar, wenn dem Auge eine Zerstreuungslinse vom Brechwerthe $\frac{1}{f_1}$ der *AM* vorgesetzt wird. Denn, wenn z. B. die Axenlänge 30 ‰ beträgt, so ist in der Grundgleichung

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{30} = \frac{1}{7,5} \text{ oder } \frac{1}{f_1} + \frac{1}{20} = \frac{1}{15}, \text{ daher } \frac{1}{f_1} = \frac{1}{60}$$

also
$$\frac{1}{20} = \frac{1}{15} - \frac{1}{60}$$

Das heisst: Der Brechwerth $\frac{1}{15}$ des *AM* von 30 ‰ Axenlänge muss durch Bewaffnung des Auges mit einer Zerstreuungslinse $\frac{1}{60}$ auf $\frac{1}{20}$ sinken, damit dasselbe emmetropisch functionire. — Man findet übrigens (nach 22) die Brennweite der Zerstreuungslinse auch nach der Brennpunctsgleichung bei bekannter Axenverlängerung, welche

in unserem Falle 7,5 beträgt, woraus $l_1 = \frac{337,5}{7,5} = 45$ und $f_1 = 45 + 15 = 60$ sich ergibt.

β) Aenderung der Brennweiten, des Krümmungsradius und Knotenpunctes durch Zerstreuungsgläser. Die vordere Brennweite unseres *AMB* Auges von $A =$ 30 m/m, welches eine Zerstreuungsbrille $\frac{1}{60}$ trägt, ist 20 m/m da die vordere Brennweite gleich dem inversen Brechwerthe ist. Daher beträgt (nach 26) der Radius dieses Auges 10 und die hintere Brennweite 30. Dieses mittlere *AM* Auge ist also durch die Brille in ein emmetropisches von $\frac{F_2}{F_1} = \frac{30}{20}$ und den Radius 10 verwandelt. Damit ist auch die Knotenpunctslage geändert. Während die Knotenpunctsdistanz im *AM* Auge $30 - 7,5 = 22,5$ war, beträgt sie im *AMB* Auge $30 - 10 = 20$. Der Knotenpunct ist also durch die Brille der Netzhaut näher gerückt, wodurch die Bilder kleiner werden müssen.

γ) Aenderung des Nah- und Fernpunctes. Wenn, wie oben (26) für Zerstreuungsgläser

$$\frac{1}{R} - \frac{1}{p} = \frac{1}{R_1} \text{ und } \frac{1}{N} - \frac{1}{p} = \frac{1}{N_1}$$

so muss für einen *AM*, dessen Axenlänge 30 m/m beträgt, der Fernpunct $R = 60$ sein. Sei der Nahpunct desselben $N = 40$ und die Brennweite der Zerstreuungsbrille $p = 60$ m/m, so ist

$$\frac{1}{6} - \frac{1}{6} = \frac{1}{\infty} \text{ und } \frac{1}{4} - \frac{1}{6} = \frac{1}{12}$$

Es liegt also der corrigirte Fernpunct dieses *AMB* in ∞ und der corrigirte Nahpunct in 12 c/m.

Wird die Distanz der Brille vom Auge z. B. von 1,5 c/m berücksichtigt, dann muss dieser Werth in allen Gliedern

der Gleichung, und zwar im Nenner subtrahirt werden, wenn mindestens Neutralisation des Fernpunctes stattfinden soll. Es verwandeln sich also die beiden obigen Gleichungen in

$$\frac{1}{R-d} - \frac{1}{p-d} = \frac{1}{R_1 - d} \text{ und } \frac{1}{N-d} - \frac{1}{p-d} = \frac{1}{N_1 - d}$$

Dazu muss eine schärfere Zerstreuungsbrille gewählt werden, deren Brennweite um die Distanz kürzer ist. Denn wenn wir obige Werthe beibehalten, so ist für die Neutralisation des Fernpunctes

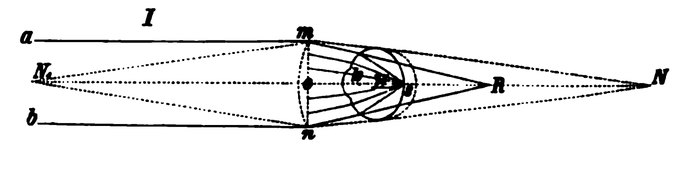
$$\frac{1}{6-1,5} - \frac{1}{6-1,5} = \frac{1}{R_1 - d} \text{ also } \frac{1}{4,5} - \frac{1}{4,5} = \frac{1}{\infty}$$

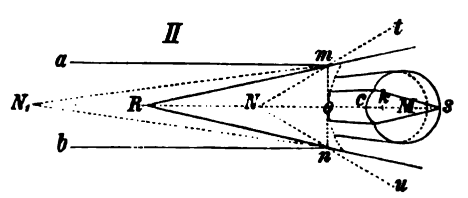
Die Brennweite der Zerstreuungsbrille muss also 4,5 %m betragen, wenn bei 1,5 Distanz unser Myope für ∞ eingestellt werden soll. Bezüglich des Nahpunctes wird

$$\frac{1}{4-1,5} - \frac{1}{6-1,5} = \frac{1}{N_1 - d} \text{ also } \frac{1}{2,5} - \frac{1}{4,5} = \frac{1}{5,62}$$

Der Nahpunct rückt demnach von 4 auf 5,6 + 1,5 = 7,1 %m heraus.

Fig. 8.





δ) Gang des Lichtes im *AMB*. (Fig. 8. II.) Wenn das axenmyopische Auge von der Axenlänge *cs* mit einer

Brille *mn* bewaffnet wird, welche in der Distanz *oc* vor dem Auge steht, und der Fernpunct *R* des Auges ist in *Rc* Entfernung, der Nahpunct *N* in *Nc* Entfernung vom Auge; so werden, wenn die Brennweite der Brille *Ro* ist, parallele Lichtstralen *am* und *bn*, welche auf die Brille auffallen, durch dieselbe in der Art zerstreut, dass ihr imaginärer, virtueller Vereinigungspunct vor die Brille nach *R* fällt. *Rc* ist auch die Entfernung des Fernpunctes vom Auge. Die Lichtstralen gelangen daher in der Weise zum Auge, als ob sie von *R* ausgegangen wären, und werden nunmehr im Auge so gebrochen, dass ihr Vereinigungspunct *s* auf die Netzhaut fällt. Das Auge ist also für parallele Lichtstralen eingestellt. —

Wenn anderntheils Lichtstralen vom Puncte N_1 aus gehend, also $N_1 m$ und $N_1 n$ auf die Brille fallen, so werden sie nach *mt* und *nu* gebrochen, und ihr virtueller Vereinigungspunct befindet sich in *N*. Da *N* der Nahpunct des axenmyopen unbewaffneten Auges ist, muss auch N_1 der Nahpunct des Brillenauges sein. Das Accommodationsbereich des *AMB* reicht also von ∞ bis N_1.

Es ergibt sich aus den voranstehenden Erörterungen für die Wirkung der Brillen auf das axenmyope Auge:

1. Durch Zerstreuungsbrillen können Axenmyopen insofern corrigirt werden, als die Brechkraft des Auges durch dieselben vermindert wird, die Brennweiten verlängert werden, und ebenso gleichsam der Krümmungsradius des Auges sich verlängert.

2. Das Auge wird für ∞ eingestellt, wenn die Zerstreuungsweite der Brille und ihr Abstand vom Auge so gewählt werden, dass der Fernpunct des Auges und der vordere Brennpunct der Brille zusammenfallen.

3. Unter allen Umständen wird aber der Nahpunct des Auges durch die Brille vom Auge abgerückt, und die Presbyopie desselben gesteigert.

4. Wenn die Brille keine vollständige Neutralisation des Fernpunctes erreicht, (also ihre Brennweite grösser als die Entfernung des Fernpunctes ist) dann wird der Fernpunct des *AMB* endlich, und der Nahpunct desselben N_1 rückt dem Auge näher. Die Brille kann dann auch für die Nähe besser verwendet werden.

5. Wenn die Brennweite der Brille kleiner als der Fernpunctswerth ist, dann wird das *AMB* Auge in ein hyperopisch und excessiv presbytisches umgewandelt.

6. Ist die Accommodation des *AM* gelähmt, dann kann lediglich Correction des Fernpunctes stattfinden; weil es — im Grunde — keinen accommodativen Nahpunct mehr gibt, (s. auch 23), sondern lediglich einen refractorischen, welcher bei Myopen dem Fernpuncte sehr nahe liegt.

28. Das axenhyperope Brillenauge. *(AHB)*.

α) Aenderung der Brechkraft durch sphärische Brillengläser. Im mittleren *AH* Auge ist die Brechkraft $\frac{1}{15}$ unverändert geblieben, aber die Axenlänge *A* hat abgenommen. Es wurde nun oben (22) nachgewiesen, dass jede *AH* durch Erhöhung der Brechkraft in Emmetropie übergehen könne, und zwar wenn dem Auge eine Sammelbrille vom Brechwerthe $\frac{1}{f_1}$ vorgesetzt wird. Denn wenn z. B. die Axenlänge des mittleren Auges 21 beträgt, also um 1,5 abgenommen hat, so ist in der Grundgleichung

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{21} = \frac{1}{7{,}5} \text{ oder } \frac{1}{f_1} + \frac{1}{14} = \frac{1}{15} \text{ daher } \frac{1}{f_1} = -\frac{1}{210}$$

also ist
$$\frac{1}{14} = \frac{1}{15} + \frac{1}{210}.$$

Das heisst: Der Brechwerth $\frac{1}{15}$ des mittleren Auges von

21 Axenlänge muss durch eine Sammelbrille $\frac{1}{210}$ auf $\frac{1}{14}$ erhöht werden, damit dasselbe emmetropisch functioniren könne. Die Brennweite der Sammelbrille kann auch mit Hilfe der Brennpunctsgleichung gefunden werden. Da die Axenverkürzung in unserem Falle — 1,5 beträgt, so ist die Brennobjectferne $l_1 = -\frac{337,5}{1,5} = -225$, also $f_1 = -(225 - 15) = -210$.

β) Aenderung der Brennweiten, des Krümmungsradius und Knotenpunctes. Die vordere Brennweite unserer *AMB*, dessen Brechwerth $\frac{1}{14}$ beträgt, ist 14, daher sein Radius 7, und die hintere Brennweite 21. Dasselbe ist also in ein emmetropisches von $\frac{F_2}{F_1} = \frac{21}{14}$ und $r = 7$ verwandelt. Die Knotenpunctsdistanz von der Netzhaut beträgt daher $21 - 7 = 14$, während sie im unbewaffneten Auge $21 - 7,5 = 13,5$ betrug. Die Netzhautbilder müssen daher grösser sein.

γ) Aenderung des Nah- und Fernpunctes. Wenn, wie oben (25) für Sammelgläser

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{p} = \frac{1}{R_1} \text{ und } \frac{1}{N} + \frac{1}{p} = \frac{1}{N_1}$$

so ist für unseren Axenhyperopen von 21 Axenlänge, der Fernpunct $R = -21$ cm. Sei der Nahpunct desselben $N = 10$ und beträgt die Brennweite der unmittelbar am Auge stehenden Sammelbrille 21 cm, so ist

$$\frac{1}{21} - \frac{1}{21} = \frac{1}{\infty} \text{ und } \frac{1}{10} + \frac{1}{21} = \frac{1}{6,7}$$

Es liegt also der corrigirte Fernpunct dieser *AHB* in ∞ und der corrigirte Nahpunct ist von 10 auf 6,7 cm. hereingerückt.

Wird die Distanz der Brille vom Auge, z. B. jene von 1,5 berücksichtigt, dann muss, wenn Neutralisation des Fernpunctes stattfinden soll, allenthalben in der Gleichung die Distanz im Nenner hinzugezählt werden.

$$\frac{1}{R+d} + \frac{1}{p+d} = \frac{1}{R_1+d} \text{ also } \frac{1}{21+1,5} + \frac{1}{21+1,5} = \frac{1}{\infty}$$

Daher muss eine um die Distanz schwächere Sammelbrille gewählt werden, und zwar jene von 22,5.

Bezüglich des Nahpunctes wird, wenn derselbe einen positiven Werth hat

$$\frac{1}{N-d} + \frac{1}{p} = \frac{1}{N_1-d} \text{ also } \frac{1}{10-1,5} + \frac{1}{22,5} = \frac{1}{6,1}$$

Der Nahpunct rückt also von 10 auf 6 cm. herein.

δ) Gang des Lichtes im *AMB*. (Fig. 8, I.) Wenn das axenhyperope Auge von der Axenlänge *cs* mit einer Brille *mn* bewaffnet wird, welche in der Distanz *oc* vor dem Auge steht, und der negative Fernpunct *R* des Auges ist in *Rc* Entfernung vom Auge, so werden, wenn die Brennweite der Brille *Ro* ist, parallele Lichtstralen *am* und *bn*, welche auf die Brille fallen, durch dieselbe in der Art gesammelt, dass ihr reeller Vereinigungspunct nach *R* fällt. *Rc* ist auch die Entfernung des Fernpunctes des Auges. Die Lichtstralen gelangen daher in der Weise zum Auge, als ob sie von *R* hinter demselben ausgegangen wären, und werden nunmehr vom Auge selbst so gebrochen, dass ihr Vereinigungspunct *s* auf die Netzhaut fällt. Das Auge ist also für die parallelen Lichtstralen *am* und *an* eingestellt.

Wenn anderntheils die Lichtstralen mN_1 und nN_1 auf die Brille auffällen, welche von N_1 ausgehen, so werden sie durch die Brille nach N gebrochen. Wenn N der Nahpunct des unbewaffneten Auges ist, dann muss N_1 der Nahpunct des Brillenauges sein. Das Accommodations-

bereich des *AMB* reicht also von ∞ bis N_1, während es früher von R bis N gereicht hat.

Es ergibt sich aus den voranstehenden Erörterungen folgende Wirkung der Sammelgläser auf das axenhyperope Auge:

1. Die Refraction des Auges kann insofern corrigirt werden, als die Brechkraft desselben durch das Brillenglas erhöht wird, die Brennweiten verkürzt werden, und ebenso gleichsam der Krümmungsradius des Auges sich verkürzt.

2. Das Auge wird auf ∞ eingestellt, wenn die Brennweite der Brille und ihr Abstand vom Auge so gewählt werden, dass der Fernpunct des Auges und der hintere Brennpunct der Brille zusammenfallen.

3. Unter allen Umständen wird der Nahpunct des Auges demselben genähert, und wird entweder der negative Werth desselben in einen positiven verwandelt, oder der bereits ursprünglich positive Nahpunct bleibt positiv.

4. Wenn die Brille keine vollständige Neutralisation des Fernpunctes erreicht, weil ihre Brennweite grösser als die Entfernung des Fernpunctes ist, dann bleibt das *AHB* hyperopisch, und wird nur die *H* niedergradiger.

5. Wenn die Brennweite der Brille kürzer als die Entfernung des Fernpunctes ist, dann wird das Auge durch die Brille in ein myopisch presbytisches verwandelt.

6. Ist die Accommodation des *AH* gelähmt, dann kann lediglich Correction des Fernpunctes durch die neutralisirende Brille stattfinden, und eine endliche Einstellung des Auges bleibt ausgeschlossen.

29. Das krümmungsmyopische Brillenauge. *(KMB.)*

α) Aenderung der Brechkraft. Bei Krümmungsmyopie liegt (20) im Gegensatze zu *AM* bereits ursprünglich ein pathologisch erhöhter Brechwerth vor, welcher durch Zer-

streuungslinsen vom Brechwerth $\frac{1}{f_1}$ bis auf den normalen vermindert werden muss, damit das Auge emmetropisch functioniren könne. Denn, wenn bei normaler Axenlänge $A = 22{,}5$ der Radius sich z. B. von 7,5 auf 7 verkürzt zeigt, so ist in der Grundgleichung

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{22{,}5} = \frac{1}{7} \text{ also } \frac{1}{f_1} + \frac{1}{15} = \frac{1}{14}$$

daher
$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{210}$$

also
$$\frac{1}{15} = \frac{1}{14} - \frac{1}{210}.$$

Das heisst: Der Brechwerth $\frac{1}{14}$ des *KM* vom Radius $= 7$ muss durch eine Zerstreuungslinse vom Brechwerth $\frac{1}{210}$ auf $\frac{1}{15}$ gebracht werden, damit das Auge emmetropisch functionire.

β) Aenderung der Brennweiten, des Krümmungsradius, Knotenpunctes und der Sehweite. Die vordere Brennweite unseres *KM* Auges war 14, die hintere 21 und der Radius betrug 7 $^{m}/_{m}$, und durch Bewaffnung mit der Correctionsbrille $\frac{1}{210}$ wird der Brennweitenquotient $\frac{F_2}{F_1} = \frac{22{,}5}{15}$, der Radius 7,5, demnach das mittlere emmetropische Auge hergestellt. Damit ist auch die Knotenpunctsdistanz von 14 auf 15 corrigirt.

Die Aenderung des Nah- und Fernpunctes berechnet sich ganz so wie im *AMB*. (27.)

30. Das krümmungshyperope Brillenauge. *(KHB.)*

α) Aenderung der Brechkraft. Bei *KH* liegt im Gegensatze zu *AH* bereits ursprünglich ein pathologisch erhöhter Brechwerth vor, welcher durch Sammellinsen vom Brechwerth $\frac{1}{f_1}$ auf den normalen erhöht werden muss, damit das Auge emmetropisch functioniren könne. Denn, wenn bei normaler Axenlänge $A = 22{,}5$ der Radius sich z. B. von 7,5 auf 8 verlängert hat, so ist in der Grundgleichung

$$\frac{2}{f_1} + \frac{3}{22{,}5} = \frac{1}{8} \text{ also } \frac{1}{f_1} + \frac{1}{15} = \frac{1}{16}$$

daher
$$\frac{1}{f_1} = -\frac{1}{240}$$

also
$$\frac{1}{15} = \frac{1}{16} + \frac{1}{240}$$

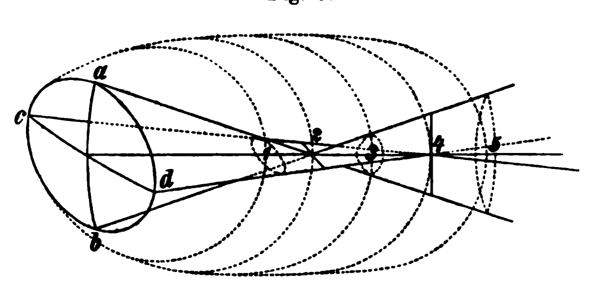
Das heisst: Der Brechwerth $\frac{1}{16}$ des *KH* vom Radius $= 8$ muss durch ein Sammelglas vom Brechwerth $\frac{1}{240}$ auf $\frac{1}{15}$ gebracht werden, damit das Auge emmetropisch functioniren könne.

β) Aenderung der Brennweiten, des Krümmungsradius und Knotenpunctes, so wie des Nah- und Fernpunctes. Die vordere Brennweite unseres *KH* Auges war 16, die hintere 24 und der Radius betrug 8. Durch Bewaffnung mit der Sammelbrille $\frac{1}{240}$ wird der Brennweitenquotient $\frac{F_2}{F_1} = \frac{22{,}5}{15}$ und der Radius von 8 in 7,5 verwandelt. Damit ist auch die Knotenpunctsdistanz von 16 auf 15 gebracht, und das mittlere emmetropische Auge hergestellt. Die Aenderung des Nah- und Fernpunctes berechnet sich ganz so, wie bei *AHB* (28).

31. Das astigmatische Brillenauge



Fig. 9.



In einem astigmatischen Auge (Fig. 9), dessen senkrechter Meridian der Cornea *ab* stärker gekrümmt ist, als der horizontale *cd*, muss die hintere Brennweite der Cornea im senkrechten Meridian kürzer sein, als im horizontalen. Nehmen wir an, dass parallele Stralen, welche auf die Cornea fallen, für den senkrechten Meridian ihren Vereinigungspunct im Puncte 2 und für den horizontalen im Puncte 4 haben, dann kann die Netzhaut mit Beziehung auf diese beiden Puncte offenbar f ü n f Lagen annehmen.

a) Wenn die Netzhaut in der Ebene des Punctes 1 sich befindet, also sowohl 2 als 4 hinter derselben liegen, dann ist das Auge in Bezug auf beide Cornealmeridiane hyperopisch — z u s a m m e n g e s e t z t e r h y p e r o p i s c h e r A s t i g m a t i s m u s, und zwar ist für den senkrechten Meridian die Hyperopie von 1—2 und für den horizontalen jene von 1—4 zu corrigiren, damit das Auge emmetropisch functioniren könne.

Bezeichen wir allgemein die astigmatische Hyperopie für den senkrechten Meridian mit *ash* $\frac{1}{a}$ und jene für den horizontalen mit *ash* $\frac{1}{b}$, so haben wir den Ausdruck für

die ganze astigmatische Refraction [illegible] = [illegible] − [illegible]
[illegible] Sammel-
glas [illegible] die gesammte Brennstrecke
[illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible] Sam-
[illegible]
[illegible]
[illegible] Meridians. [illegible]
[illegible]
[illegible]
[illegible] Refraction [illegible]
[illegible]
[illegible] Astigmatismus
[illegible]
[illegible]

[illegible] Meridian [illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible] Meridian [illegible]

[illegible]

[illegible]

b) Wenn die Netzhaut in der Ebene des Punctes 2 ihre Lage hat, dann ist das Auge für den senkrechten Cornealmeridian emmetropisch eingestellt, indem ja die durch denselben gebrochenen Lichtstralen in 2 ihren Vereinigungspunct haben. Für den senkrechten Meridian ist also die Brechkraft des Auges $= \frac{1}{\infty}$ und keine Correction nöthig. Nur für den horizontalen Meridian ist die Hyperopie, von 2—4 reichend, durch ein sammelndes Cylinderglas zu corrigiren. — Wir haben den einfachen hyperopischen Astigmatismus $\frac{1}{\infty} + cyl\ h\ \frac{1}{6}$ || durch Stellung der Axe senkrecht auf den fehlerhaften horizontalen Meridian zu corrigiren.

Sei also die Brechung im senkrechten Meridian fehlerlos, und im horizontalen $h\ \frac{1}{20}$, so corrigiren wir den einfachen hyperopischen *As.* durch $cyl\ h\ \frac{1}{20}$ ||.

c) Wenn die Netzhaut in der Ebene des Punctes 3 ihre Lage hat, so ist das Auge für den senkrechten Meridian, dessen Lichtstralen sich in 2 vor der Netzhaut vereinigen, myopisch, und für den horizontalen, dessen Lichtstralen in 4 hinter der Netzhaut sich vereinigen, hyperopisch.

Es ist gemischter Astigmatismus, Myopie und Hyperopie gemischt, vorhanden, $m\ \frac{1}{a} + ash\ \frac{1}{b}$.

Wenn man nun zunächst die Myopie des senkrechten Meridians corrigirt, so rückt der Vereinigungspunct der Lichtstralen von 2 nach 3 heraus. Damit verschiebt sich aber auch die ganze Brennstrecke, und der Vereinigungspunct 4 für den horizontalen Meridian entfernt sich noch mehr von der Netzhaut. Mit Correction der Myopie im

senkrechten Meridian wird also die astigmatische Hyperopie des horizontalen Meridians um den ganzen Grad der corrigirten Myopie gesteigert. Es ist somit zu corrigiren

$$m\,\frac{1}{a} + ash\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right) \,||.$$

Beträgt also die Myopie des senkrechten Meridians $\frac{1}{a} = \frac{1}{20}$ und die astigm. Hyperopie des horizontalen $\frac{1}{b} = \frac{1}{20}$, so corrigiren wir $m\,\frac{1}{20} + ash\left(\frac{1}{20} + \frac{1}{20}\right)||$

somit $$m\,\frac{1}{20} + ash\,\frac{1}{10}\,||.$$

d) Wenn die Netzhaut in der Ebene des Punctes 4 ihre Lage hat, dann ist das Auge für den horizontalen Meridian emmetropisch eingestellt, indem die durch denselben gebrochenen Lichtstralen sich im Puncte 4 vereinigen. Für den horizontalen Meridian ist also die Brechkraft des Auges $\frac{1}{\infty}$ und keine Correction nöthig. Für den senkrechten Meridian besteht dagegen Myopie, welche vom Puncte 2—4 reicht, und diese ist durch ein passendes concaves Cylinderglas zu corrigiren. Wir haben demnach den einfachen myopischen Astigmatismus

$$\frac{1}{\infty} + cyl\,.\,m\frac{1}{a} = cyl\,.\,m\frac{1}{a}$$

durch Stellung der Axe des Cylinderglases senkrecht auf den fehlerhaften senkrechten Meridian der Cornea zu corrigiren. Sei also im senkrechten Meridian $m\,\frac{1}{20}$, so verordnen wir $cyl\ m\,\frac{1}{20} =$, wobei das = Zeichen die Stellung der Axe des Cylinderglases bedeutet.

e) Wenn die Netzhaut in der Ebene des Punctes 5 ihre Lage hat, also sowohl Punct 2 als 4 vor derselben liegen, dann

ist das Auge in Bezug auf die Brechung beider Corneal-meridiane myopisch — zusammengesetzter myopischer Astigmatismus, und zwar ist im senkrechten Meridian die Myopie von 2—5, und im horizontalen jene von 4—5 zu corrigiren.

Bezeichnet man allgemein die astigmatische Myopie für den senkrechten Meridian mit $as \, . \, m \, \frac{1}{a}$ und jene für den horizontalen mit $as \, . \, m \, \frac{1}{b}$, so ist der Ausdruck für die gesammte astigmatische Refraction $as \, . \, m \, \frac{1}{a} + asm \, \frac{1}{b}$.

Wird nun zunächst die Myopie des horizontalen Meridians $m \, \frac{1}{b}$ durch ein sphärisches Concavglas, also die Strecke 4—5 corrigirt, so rückt die ganze Brennstrecke um diesen Werth gegen die Netzhaut zurück, so dass nunmehr bloss die Strecke 2—4 zu corrigiren übrig bleibt. Das heisst: nachdem $m \, \frac{1}{b}$ corrigirt wurde, bleibt noch $as \, m \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)$ im senkrechten Meridian zu verbessern. Es ist also der Ausdruck für die geforderte Correction

$$m \, \frac{1}{b} + as \, m \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right) =,$$

wobei das $=$ Zeichen die Lage der Axe des Cylinderglases bedeutet. Hat man also für den horizontalen Meridian $m \, \frac{1}{b} = \frac{1}{20}$ und für den senkrechten $\frac{1}{10}$ gefunden, so ist noch für den senkrechten Meridian

$$as \, m \left(\frac{1}{10} - \frac{1}{20}\right) = \frac{1}{20}$$

übrig, und wir ordiniren $m \, \frac{1}{20} + cyl \, m \, \frac{1}{20} =$.

32. Aphakie.

Durch den Verlust der Linse wird dem Auge ein brechendes Mittel entzogen, während es, optisch aufgefasst, in Bezug auf Axenlänge und Krümmung der Cornea unverändert bleibt. Es ändert sich also lediglich der Totalindex, und nimmt um den Werth der eingeschalteten Linse ab. Ein emmetropisches Auge muss daher durch Aphakie in ein hyperopisches übergehen, und die Hyperopie ist als Indexhyperopie aufzufassen.

Nehmen wir nun zunächst an, dass im mittleren Auge von $\frac{F_2}{F_1} = \frac{22,5}{15}$ der Index von $^3/_2$ auf $^4/_3$ sinke, so wird bei unverändertem Radius von 7,5 und unveränderter Axenlänge von 22,5 nunmehr die vordere Brennweite $F_1 = 3r = 22,5$ und die hintere $F_2 = 4r = 30$ werden müssen. Die Differenz der inversen Brennweiten wird $\frac{1}{22,5} - \frac{1}{30} = \frac{1}{90}$.

Es ist sodann das Brennweitenproduct $22,5 \times 30 = 675$ geworden, und da für parallele Stralen der Vereinigungspunct $30 - 22,5 = 7,5$ hinter die Netzhaut fällt, ist auch $l_2 = - 7,5$ also $l_1 = - \frac{675}{7,5} = - 90$. Die negative Objectferne f_1 für dieses Auge beträgt desshalb $l_1 - F_1 = 90 - 22,5 = - 67,5$.

In der Grundgleichung haben wir für dieses aphakische Auge

$$\frac{3}{f_1} + \frac{4}{22,5} = \frac{1}{7,5}$$

woraus sich abermals die Objectferne

$$\frac{1}{f_1} = - \frac{1}{67,5} \text{ ergibt.}$$

Zur Correction der Aphakie muss daher eine Convexbrille gewählt werden, deren Brennweite, wenn die Linse unmittelbar am Auge stünde, 67,5 wäre. Steht die Linse dagegen 15 m/m

vor dem Auge, dann muss ihre Brennweite 67,5 + 15 = 82,5 sein, also etwas über drei Zoll betragen. Diess ist auch in ziemlicher Uebereinstimmung mit der Beobachtung bei aphakischen Emmetropen. In der Mehrzahl entsprechen den an Cataracta operirten freilich Gläser, welche eine etwas grössere Brennweite, 95 m/m (3,5 Zoll nahe) haben, woraus sich auf einen etwas höheren Index als $^4/_3$, der sich durch Ausschaltung der Linse ergibt, schliessen lässt.

Für das schematische Auge, dessen Cornea einen Radius von 7,829 und einen Index von 1,3365 hat, und dessen Axenlänge 22,8245 beträgt, wäre in der Grundformel

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1{,}3365}{22{,}8245} = \frac{0{,}3365}{7{,}829}$$

daher $$f_1 = -\ 64{,}21.$$

Steht die Brille in 15 m/m Distanz vom Auge, so müsste sie demnach 79,21 Brennweite haben, was noch weniger der Beobachtung entspricht, als unsere obige Annahme. Wenn man dagegen annimmt, dass in unserem mittleren Auge der Index durch Aphakie von 1,5 auf 1,36 sinke, so ist

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1{,}36}{22{,}5} = \frac{0{,}36}{7{,}5}, \text{ also } f_1 = -\ 80.$$

und die Brennweite der 15 m/m vor dem Auge stehenden Brille muss 95 m/m (3,5 Zoll) sein.

Diess entspricht demnach der Erfahrung am meisten. Der Index nimmt also nicht, wie wir der runden Rechnung wegen oben angenommen haben, bei Emmetropen durch Aphakie um $\frac{1}{6}$ sondern meist lediglich um $\frac{1}{7}$ ab.

Das aphakische Auge, durch eine Convexbrille für die Ferne corrigirt, wird vom optischen Gesichtspuncte in ein emmetropisches umgewandelt, indem die Brille gleichsam den gesunkenen Index von 1,333 (oder 1,36) auf 1,5 erhöht. Das corrigirte aphakische Auge wäre also sodann durch die Formel

$\frac{2}{\infty} + \frac{3}{22,5} = \frac{1}{7,5}$, welche dem mittleren emmetropischen Auge entspricht, repräsentirt. Wir haben aber oben (21) gesehen, dass für jede Indexanomalie auch ein äquivalenter Krümmungsfehler gesetzt werden kann. Fragen wir daher, welcher der äquivalente Radius sein müsste, um ein aphakisches Auge von $n_2 = 1,33$ (oder 1,36) in ein emmetropisches zu verwandeln,

so ist für $n_1 = 1,33$ $\frac{3}{\infty} + \frac{4}{22,5} = \frac{1}{r}$, also $r = 5,625$

und für $n_1 = 1,36$ $\frac{1}{\infty} + \frac{1,36}{22,5} = \frac{0,36}{r}$, also $r = 5,955$.

Durch die corrigirende Staarbrille wird also das aphakische Auge in ein emmetropes von $n_2 = 1,36$, $A = 22,5$, und $r = 6$ nahe verwandelt; der Radius nimmt also um 1,5 ab, was einer Abnahme des Index um $\frac{1}{7}$ äquivalent ist.

Die Emmetropie des corrigirten aphakischen Auges ist freilich meist bloss eine sehr bedingte, bloss theoretische. Denn da das Auge accomodationslos ist, da sich oft nach der Operation des Staares ein störender Astigmatismus der Cornea entwickelt, da die Irisfunction in manchen Fällen geschädigt ist, Beugungs- und Reflexionserscheinungen des Lichtes an Trübungsstellen der Kapsel oft hinzukommen, und auch die Dicke so wie andere optische Fehler der Brillengläser hinzugerechnet werden müssen, so ist die Correction aphakischer Augen durch Staarbrillen in der Regel keine ganz vollständige, und die sogenannte volle Sehschärfe wird nur bei wenigen Individuen thatsächlich erreicht.

Wenn wir die Brennweite der Correctionsbrille, den Totalindex und den Radius des Aphaken kennen, so lässt sich offenbar daraus die Axenlänge A des Auges berechnen. Denn, wenn $n_2 = 1,36$ $r = 7,5$ und $f_1 = -80$ ist, so haben wir in der Grundgleichung

$$\frac{1}{-80} + \frac{1,36}{A} = \frac{0,36}{7,5}$$

woraus sich $A = 22,5$ ergibt. Aber da der Totalindex nicht wohl bestimmbar ist, wird sich die Axenlänge auch nicht berechnen lassen. Mittlere Werthe für den Index einzuführen, ist nicht zulässig, da schon geringe Schwankungen von n_2 wesentliche Abweichungen für A ergeben. So wird, wenn $f_1 = -80$ und $r = 7,5$ bleibt, aber n_2 anstatt wie oben 1,36 mit 1,33 angenommen wird, $A = 23,54$, und der Unterschied beträgt demnach mehr als 1 m/m.

33. Numerirung der Brillengläser.

Jede dem Auge vorgesetzte Brille fügt sich nur dann in die Berechnung der optischen Verhältnisse, wenn die Beziehung ihrer Brennweite zu dem Einstellungsvermögen des Auges oder jene ihres Brechwerthes zu dem Brechwerthe des Auges in Betrachtung gezogen wird. In der Grundformel

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

bedeutet f_1 die Objectferne für das ametrope Auge und gleichzeitig die Brennweite der geforderten Brille, vorausgesetzt, dass ihre Distanz vom Auge vernachlässigt werden kann. In der Brennpunctsgleichung $F'_1 F_2 = l_1 l_2$ bedeutet l_1 die Brennobjectferne des Auges und gleichzeitig die Brennweite der im vorderen Brennpuncte des Auges stehenden Brille. Und endlich in der allgemeinen Gleichung für den Brechwerth des ametropen Auges $\frac{1}{f_1} + \frac{n_2}{n_1 f_2} = \frac{n_2 - n_1}{n_1 r}$ bedeutet $\frac{1}{f_1}$ den Brechwerth der geforderten Brille. Denn wenn z. B. bei Axenhyperopie wie oben (28) gezeigt wurde, die Axenlänge des mittleren Auges 21 beträgt, bei unverändertem Radius und Index: so ist

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{14} = \frac{1}{15} \text{ also } f_1 = -210 \text{ und } \frac{1}{15} + \frac{1}{210} = \frac{1}{14}.$$

Das heisst: Der Brechwerth $\frac{1}{15}$ dieses Auges muss durch eine Sammellinse vom Brechwerth $\frac{1}{210}$ auf $\frac{1}{14}$ erhöht werden, damit dasselbe emmetropisch functioniren könne.

Immer muss also die Brennweite des Glases im Millimeterwerthe in die Rechnung eingeführt werden, und es würde nur zu Verzögerungen des Rechnungsresultates führen, wenn die Bezeichnung der Brillen im Brillenkasten eine andere wäre, als nach Brennweiten im Metermasse. Desshalb ist es auch dringend nöthig geworden, die Zollbezeichnung der Brillenbrennweiten endlich gänzlich zu verlassen, weil bei der Anwendung obiger Formeln eine Rechnung mit Zollmass nicht wohl durchführbar ist, und die immerwährende vorausgehende Reduction von Zollmass in Metermass sehr unbequem wäre. Zur Bezeichnung der Brillen empfiehlt sich offenbar am besten der Centimeter, welcher lediglich eine zehnfach grössere Einheit als der Millimeter bedeutet, aus welcher demnach durch Multiplication mit 10 sich der Millimeterwerth der Brille unmittelbar ergibt. Hiebei kann lediglich die Frage als eine offene betrachtet werden, wie viele Nummern von Brillengläsern im Centimeterwerth man im Brillenkasten vorräthig halten solle, oder welche Intervalle zwischen den einzelnen Brillengläsern durch das Bedürfniss der Praxis gestattet sind. Theorie und Erfahrung haben gelehrt, dass bei den schwächeren Gläsern die Intervalle grösser sein dürfen, als bei den stärkeren, und dass wir daher eine engere Serie und eine grössere Zahl stärkerer Brillengläser als schwacher nöthig haben. Anderntheils ist eine gewisse Compendiosität des Brillenkastens practisch gefordert; denn wenn auch die allerreichste Suite von Gläsern theoretisch gestattet wäre, so würde doch hiedurch die Auswahl umständlich und beschwerlich.

Der alte Brillenkasten hält in dieser Beziehung ziemlich die richtige Mitte ein, und Niemand kann bestreiten, dass weder bezüglich der Zahl der vorräthigen Gläser noch bezüglich der Intervalle derselben eine wesentliche Aenderung nothwendig sei. Im alten Kasten steigen die Gläser von $^1/_4$, $^1/_2$, 1, 2, 4, 6 bis 12 Zoll Intervall aufwärts. Wenn man nun an Stelle des Zollmasses das Metermass, und zwar die Centimeterbezeichnung für die Brillengläser einführt; dann dürfte es sich empfehlen, analog dem alten Kasten die Intervalle von 1, 2, 3, 4, 6, 10, 16 bis 20 Centim. wachsen zu lassen, so dass die Brillenserie wie bisher aus 30 Nummern bestünde, welche im runden Centimeterwerthe sein würden: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 35, 38, 41, 44, 48, 54, 64, 80, 100, 120, 140, 160.

Man sieht, dass diese Serie sich nicht weit von jener des früheren Brillenkastens entfernt, denn wenn wir zu der Zollbezeichnung der alten Scala die genauere Reduction auf Cm. in Klammern beifügen, so haben wir: Nr. 2 (5,5) — 2 $^1/_4$ (6) — 2 $^1/_2$ (6,75) — 2 $^3/_4$ (7,4) — 3 (8,1) — 3 $^1/_2$ (9,4) — 4 (10,8) — 4 $^1/_2$ (12,1) — 5 (13,5) — 5 $^1/_2$ (14,8) — 6 (16,2) — 6 $^1/_2$ (17,5) — 7 (18,9) — 8 (21,6) — 9 (24,3) — 10 (27) — 11 (30) — 12 (32,4) — 13 (35) — 14 (37,8) — 15 (40,5) — 16 (43,2) — 18 (48,6) — 20 (54) — 24 (64,8) — 30 (81) — 36 (97,2) — 42 (113,4) — 48 (130) — 60 (162).

Bei der Reduction des Zollmasses in Metermass müssen wir aber stehen bleiben, und es ist durch Nichts gerechtfertigt, noch weiter zu gehen, und gar, wie es geschehen ist, eine willkürliche Refractionseinheit, oder mehre derselben zu wählen, so wie die Brillengläser nicht allein diesen anzubequemen, sondern auch die Bezeichnung der Gläser darauf zu stützen.

Die erste Anregung zum radicalen Umsturze der bestehenden Brillenscala, und zur Bezeichnung der Gläser nach willkürlich gewählten Brechwerthen, hat bekanntlich Burow 1864

gegeben. Es sollte nämlich fortan die Brennweite eines willkürlichen schwächsten Glases als optische Einheit gelten und die Nummern hätten von der schwächsten zur stärksten durch Summirung der inversen Werthe der optischen Einheit aufzusteigen. Sei also n die optische Einheit, so wäre die Scala $\frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \frac{3}{n}$ bis $\frac{n}{n}$, wobei der Zähler die Nummer des Glases bedeutet. Wenn z. B. die Einheit von 60 Zoll gewählt wird, so ist Nr. 1 $= \frac{1}{60}$ und hat die Brennweite von 60 Zoll; Nr. 2 $= \frac{2}{60}$ hat die Brennweite von $\frac{60}{2} = 30$ Zoll, bis zur letzten Nummer 60 $= \frac{60}{60}$ von 1 Zoll Brennweite. Dieser Gegenstand wurde in der Folge sehr lebhaft discutirt, denn bei der freistehenden Wahl der optischen Einheit bot er ein sehr breites Terrain für Vorschläge der differentesten Art. Ich warnte freilich bereits 1869 (Prag. Vierteljahrschrift 101. Band) davor, die optische Einheit bis in den Brillenkasten zu verfolgen. Denn, welche Einheit man auch immer wähle, so stellt sich doch stets heraus, dass die Intervalle der Brennweiten entweder in den schwächeren Nummern für das Bedürfniss zu gross, oder in den stärkeren zu klein ausfallen. Will man dagegen Lücken durch Interpolation grösserer optischer Einheiten ausfüllen, andererntheils überflüssige Nummern durch Interpolation kleinerer Einheiten eliminiren, und zugleich die hiebei zu Tage tretenden lästigen Decimalstellen abrunden, dann trübt man das Bild der Theorie, und erreicht nach keiner Richtung hin ein werthvolles, exactes oder nur leidlich brauchbares Resultat.

Trotz dieser und anderer Warnrufe haben aber dennoch Einige den von Burow angedeuteten Weg der Reform des Brillenkastens mit besonderer Beharrlichkeit bis in die äussersten Consequenzen verfolgt, und sich alle Mühe gegeben, namentlich

eine Scala einzuführen, welcher sie den Namen der Dioptrienscala gegeben haben, von welcher — aber ganz irrthümlich — behauptet wird, dass sie die — ebenfalls ganz willkürliche — Einheit einer Linse von 1 Meter zur Grundlage habe.

Da diese sogenannte Dioptrienscala mit einigem Anstrich von scientifischer Gediegenheit berufen sein sollte, die practisch bewährte Brennweitenscala zu verdrängen, so ist es durchaus nothwendig, das Hohle und Haltlose der Sache eingehender darzulegen. Wenn man sagt: „Die Einheit des neuen Systems ist eine Linse von 1 Meter Brennweite, und man nennt sie Dioptrie“, so ist diess einfach nicht wahr.

Denn die sogenannte Dioptrienscala beginnt mit dem schwächsten Glase von 4000 m/m Brennweite, also mit der 4 Meterlinse (ein Viertel-Dioptrie) und dieses Intervall geht durch die Scala bis zu der 2,5 Dioptrie. Hierauf beginnt die Doppelmeterlinse als Intervall, und reicht bis zur 6 *D*. Von da an bis zur 18 *D* ist erst die Meterlinse das Intervall; über diess hinaus ist dann wieder der Halbmeter die optische Einheit. Die Dioptrienscala hat also nicht eine Einheit des Systems, sondern sie disponirt in den verschiedenen Gebieten sogar über 4 Einheiten: 4000, 2000, 1000, 500, wodurch selbstverständlich die so emphatisch proclamirte Einheit der Einmeterlinse völlig in die Brüche geht.

Der Ausdruck «Vierteldioptrie, halbe Dioptrie», wie er hier eingeführt worden ist, beruht daher auf einem entschiedenen Irrthum. Denn die Dioptrie, der Brechwerth, die optische Einheit der Linse von 1 Meter Brennweite ist als solche ein Ganzes, Untheilbares. Viertel, Halbe oder selbst Zehntel kann es davon nicht geben, weil ein halbes Brillenglas niemals die halbe Brechkraft des ganzen Glases annimmt, sondern auch die Scherben einer Brille die Brechkraft der ganzen behalten. Jede Dioptrienscala als Repräsentant der Einheit der Meterlinse kann

daher nur in ganzen Dioptrien fortschreiten, und die Bezeichnung anderer interpolirter Einheiten nach Vierteln und halben Dioptrien ist eine entschiedene mathematische Contradiction. Die sogenannte Dioptrienscala ist vielmehr nichts anderes als eine einfache Quotenserie, welche man ganz unzutreffend als Dioptrie bezeichnet. Die Quote zeigt nemlich an, wie vielmal die Brennweite des Glases als Einheit und Nenner, im Meter als Zähler enthalten ist. Damit ist allerdings der weiteste Spielraum für die Wahl jeder Art von Quoten gegeben. Denn der Meter als Zahl lässt sich durch jede beliebige Zahl dividiren, und man ist daran durch keinerlei optisches Gesetz, durch keine Meterlinse oder Dioptrie gehindert. Aber es ist völlig überflüssig, die Brennweiten in Quoten des Meters auszudrücken, da ja jede im Metermass ausgedrückte Brennweite für sich eine Verhältnisszahl des Meters bedeutet. So beträgt die Brennweite von 7 %m doch offenbar 7 Procent des Meters, welcher Letztere hier die offene Einheit des Masses ist: während in der Dioptrienscala nicht der Meter oder gar die Meterlinse die optische Einheit des Systems ist, sondern die jeweilig in der Quote versteckte Brennweite. Es kommen daher in dieser Serie ebenso viele Versteckens spielende Einheiten vor, als Brennweiten vorhanden sind. Denn wenn man die Dioptrie mit D, den Meter mit M, die Brennweite mit B bezeichnet, so ist offenbar $D = \frac{M}{B}$; also $\frac{1}{D} = \frac{B}{M}$. Es muss sich also die Dioptrie erst überschlagen, damit wir zur Einheit des Meters $= \frac{B}{M}$ von der wir ausgegangen sind, wieder zurückgelangen! Das können wir bequemer haben, wenn wir bei der Bezeichnung der Brennweiten im Centimetermass stehen bleiben.

Wenn die Quotenserie mit den versteckten Brennweiten, welche in jedem Falle erst aufgesucht werden müssen, in Vier-

teln, Halben oder Ganzen von Null bis 20 fortschreitet, wie es thatsächlich beliebt wurde: dann kommen zum grössten Theile unendliche Brüche als Brennweiten heraus. Wählt man dagegen ganze Zahlen für die Brennweiten als Grundlage der Serie, so kommen wieder die Quoten allenthalben in Form unendlicher Brüche heraus, und man gelangt in einen Kampf mit laufenden Brüchen, aus welchem es nur durch gewaltsame Umwandlung derselben in ganze Zahlen ein Entkommen gibt. So wird bei $6\,D = \frac{1000}{6}$ die Brennweite 166,66 . . . und durch Abrundung dieses Decimalbruches auf 166 wird wieder die Quote oder Dioptrie $\frac{1000}{166} = 6{,}0240903 \ldots$ Nun ist es vor Allem geboten, für die Brennweiten ganze Zahlen zu wählen. Denn, wem wird es wohl einfallen, z. B. ein Glas von

$$6{,}5\ D = 153{,}8461 \ldots {}^{m}/_{m}$$

Brennweite thatsächlich herstellen zu wollen, und mit diesem Werthe zu rechnen? Sobald wir aber runde Brennweiten haben — und haben müssen wir sie, — dann wird wieder die Quotenserie entschieden ad absurdum geführt. — Beispielsweise werden die Brennweiten von der 11 bis 18 *D.* von den Freunden der Dioptrie abgerundet: 91, 83, 77, 71, 67, 62, 59, 55. Die auf dieser Grundlage berechneten Quoten sind aber nicht in ganzen Zahlen 11—18, wie angenommen wird, sondern: 10,98 — 12,04 — 12,98 — 14,08 — 14,92 — 16,12 — 16,94 — 18,18, wobei bloss z w e i von den laufenden Decimalen ausgerechnet wurden! — Andererntheils müssten, wenn die Quoten in ganzen Zahlen von 11—18 fortschreiten sollen, die Brennweiten sein: 90,90 — 83,33 -- 76,92 — 71,41 — 66,66 -- 62,5 — 58,82 — 55,55. — In der Dioptrienscala werden nun die unbequemen Decimalen bei den Brennweiten einfach und ohne Umstände vernichtet, und ganze Zahlen hergestellt. Aber diess ist ein unexacter und unverantwortlicher Vorgang, denn er ergibt

eine incorrecte Serie, mit welcher keine genauere optische Rechnung durchführbar ist. So hat ein Emmetrope mit dem Nahpunct von 13 %m eine Accommodationsbreite von $\frac{100}{13} = 7{,}692$ Dioptrien. Aber eine solche *D.* gibt es in der Scala nicht, sondern nur 7 *D* oder 8 *D*. Wählen wir 8 *D*, so ist

$$\frac{100}{8} = 12{,}5.$$

Der Nahpunct müsste demnach nach der Dioptrienscala anstatt in 13, in 12,5 cm. liegen, was incorrect ist, wie man denn dem Emmetropen keinen anderen Nahpunct aufzwingen kann, als den, welchen er thatsächlich besitzt. — So ist die Dioptrienscala geeignet, das ungenaue Rechnen in der ophthalmologischen Praxis recht einzubürgern, und wenn wir die bezüglichen darauf ruhenden Angaben prüfen, so überzeugen wir uns, dass dieselben hie und da wirklich recht schreiende Unwahrheiten enthalten. So heisst es irgendwo: «Ein Emmetrop von 46 Jahren verlangt eine Brille. Er ist 7 (sic!) Jahre älter als 40. Macht $\frac{7}{5} = 1{,}5$ *D*». — Und doch macht $^7/_5$ nicht 1,5, sondern 1,4 *D*. Dabei wird die Brennweite von 71,4 cm. ohne Umstände in 66,6 changirt, was eine Ungenauigkeit von 4,8 cm. in der Brennweite ergibt!

Nach allem dem kann die Dioptrienscala wahrlich nicht ernst genommen werden. Ihre Einführung würde, anstatt einen Fortschritt, eine entschiedene Verwirrung der Sachlage bedeuten. Die Behauptung, dass die Meterlinse die Einheit des Systems der Dioptrie sei, beruht auf einem Irrthume, welchen keinerlei Reclame zu einer mathematischen Wahrheit umzugestalten vermag, und es kann uns nicht zugemuthet werden, dass wir die exacte und bequeme Brennweitenscala unserer Brillengläser einer Quotenserie opfern, welche auf falschen Basen ruht, und mit welcher wir bei allen Rechnungen in die Verwickelung mit un-

endlichen Brüchen gelangen, oder uns die ungenauesten Rechnungsresultate gefallen lassen müssten!

34. Grösse der Retinalbilder beim Accommodationsacte des Emmetropen.

Es wurde oben (15) nachgewiesen, dass sich allgemein das Bild β_1 zum Objecte β verhalte, wie die vordere Brennweite F_1 zur Brennobjectferne l_1 oder wie die vordere Brennweite F_1 zu der um die vordere Brennweite verminderten Objectferne f_1

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{F_1}{l_1} = \frac{F_1}{f_1 - F_1}$$

Bei ruhender Accommodation, wo der Werth der vorderen Brennweite des mittleren emmetropen Auges unverändert = 15 bleibt, muss daher für eine Objectferne von 300 m/m sein

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{15}{300 - 15} = \frac{15}{285} = 0{,}052645.$$

Wenn der Emmetrope aber auf eine bestimmte Objectferne accommodirt, so wird allgemein der Brechwerth $\frac{1}{F_1}$ seines Auges durch den inversen Werth der Objectferne erhöht auf den Brechwerth $\frac{1}{B}$

also $$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{F_1} = \frac{1}{B}$$

Es ist daher auch $$B = \frac{f_1 F_1}{f_1 + F_1}$$

wobei B die durch Accommodation geänderte vordere Brennweite bedeutet. Es übergeht also die Grösse des Bildes in

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{B}{f - B}$$

Wenn demnach der Emmetrope auf eine Objectferne von 300 m/m accommodirt, so ist

$$B = \frac{300 \times 15}{300 + 15} = 14{,}285$$

und
$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{14{,}285}{300 - 14{,}285} = 0{,}049997.$$

Das im accommodirten Auge zu Stande kommende Bild ist also um 0,002648 kleiner als im nicht accommodirten, wobei jedoch festgehalten werden muss, dass im nicht accommodirten Auge für $f_1 = 300$ überhaupt kein deutliches Bild auf der Netzhaut zu Stande kommt, sondern dasselbe 1,184 m/m hinter der Netzhaut befindlich ist, so dass auf der Netzhaut ein Zerstreuungsbild entsteht.

Der Unterschied der Grösse der Retinalbilder im accommodirten und nicht accommodirten Auge ist übrigens so gering, dass er im Allgemeinen für grössere Objectfernen vernachlässigt werden kann. Derselbe beträgt nemlich z. B. für die Objectferne eines Meters bloss 0,0002, also $\frac{1}{5000}$ und wird für noch grössere Objectfernen geradezu verschwindend klein.

35. Grösse der Retinalbilder bei Axenmyopie.

Im axenmyopen mittleren Auge, dessen Fernpunct z. B. 300 m/m beträgt, ist (21) die Brennobjectferne

$$l_1 = f_1 - F_1 = 300 - 15 = 285$$

also die Brennbildweite $l_2 = \frac{337{,}5}{285} = 1{,}184\ldots$, daher die Axenlänge $A = 22{,}5 + 1{,}184 = 23{,}684$ beträgt. Es ist also

$$\frac{2}{300} + \frac{3}{23{,}684} = \frac{1}{300} + \frac{1}{15{,}789} = \frac{1}{15}$$

Das heisst: Die vordere Brennweite dieses Auges ist unverändert geblieben, und das Retinalbild hat für ruhende Accommodation dieselbe Grösse wie im emmetropen Auge. Das Retinalbild ist also für $f_1 = 300$, auch

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{F_1}{l_1} = \frac{15}{285} = 0{,}052645.$$

Aber es ist um 0,002648 grösser als im emmetropischen Auge, welches auf 300 mm accommodirt ist.

Auch im accommodirten axenmyopischen Auge muss diess Verhältniss nahezu dasselbe bleiben, und man kann daher sagen, dass die Retinalbilder bei *AM* allgemein grösser sind, als jene des emmetropen Auges.

Denn, wenn z. B. der Emmetrope auf 200 mm accommodirt, so wird

$$B = \frac{200 \times 15}{200 + 15} = 13{,}95 \,.\,.\, \text{also } \frac{\beta_1}{\beta} = \frac{13{,}95}{200 - 13{,}95} = 0{,}074.$$

Wenn dagegen der Axenmyop 30 cm. auf 200 mm accommodirt, so ist

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{200} + \frac{1}{15{,}789} = \frac{1}{14{,}633}$$

also $$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{14{,}633}{200 - 14{,}633} = 0{,}0789.$$

Das Retinalbild des *AM* 30 ist daher 0,004 grösser als jenes des *E*, wenn beide auf 20 cm. accommodiren.

36. Grösse der Retinalbilder bei Axenhyperopie.

Wenn ein *AH* accommodationstüchtig ist (facultative Hyperopie), so wird, wenngleich die Retinalbilder desselben bei ruhender Accommodation sich mit jenen anderer nicht vergleichen lassen, doch bei Accommodationsspannung eine solche Vergleichung möglich sein.

Es wird für eine *AH*, wo die Axenlänge 21 beträgt, bei der Accommodation auf 300 mm

$$\frac{1}{300} + \frac{1}{14} = \frac{1}{13{,}37}$$

also $$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{13{,}37}{300 - 13{,}37} = 0{,}0466.$$

Die Bilder sind also beim *AH*, welcher auf 300 Objectferne accommodirt, um 0,0033 kleiner, als im emmetropen auf 300 accommodirten Auge, und sogar um 0,016 kleiner als beim *AM* 30.

37. Grösse der Retinalbilder bei Krümmungsmyopie.

Bei *KM*, wo $f_1 = 300$ wird, ist

$$\frac{2}{300} + \frac{3}{22,5} = \frac{1}{r}$$

der Radius dieses Auges beträgt also 7,14 nahe; daher die vordere Brennweite $F_1 = 14,28$ und es ist also bei 300 Objectferne

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{F_1}{l_1} = \frac{14,28}{285,72} = 0,05 \text{ nahe.}$$

Das Retinalbild ist also nahe gleich gross als jenes des auf 300 accommodirten *E*, aber um 0,002645 kleiner als jenes des *AM* von gleichem Grade der Myopie.

38. Grösse der Retinalbilder bei Krümmungshyperopie.

Bei *KH*, wo $f_1 = -300$ wird, ist

$$\frac{3}{22,5} - \frac{2}{300} = \frac{1}{r}$$

der Radius dieses Auges beträgt daher 7,9 nahe und die vordere Brennweite 15,8.

Wenn dieses Auge auf 300 accommodirt, so ist

$$\frac{1}{300} + \frac{1}{15,8} = \frac{1}{15}$$

Es ist also

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{15}{285} = 0,052645.$$

Die Bilder sind also um 0,002645 grösser, als im emmetropen, auf 300 accommodirten Auge.

39. Grösse der Retinalbilder im axenmyopischen Brillenauge.

Aus den voranstehenden Erörterungen hat sich ergeben, dass die Grösse der Retinalbilder beim Accommodationsacte und den verschiedenen refractorischen Anomalien nicht erheblich schwanke, und dass die Differenzen allgemein lediglich um den Werth von $\frac{1}{500}$ bis $\frac{1}{150}$ m/m stehen. Es müssen daher ähnliche Verhältnisse auch beim Brillenauge vorkommen, welches ja das in ein emmetropes verwandelte ametrope Auge darstellt.

Das Auge von *AM* 30 hat eine Axenlänge *A*

$$\frac{2}{300} + \frac{3}{A} = \frac{1}{7{,}5}, \text{ also } A = 23{,}68 \, , \ldots$$

Der Brechwerth $\frac{1}{15{,}78}$ nahe ist also für dieses Auge gefordert, damit dasselbe emmetropisch functionire, denn

$$\frac{1}{300} + \frac{1}{15{,}78} = \frac{1}{15} \text{ nahe.}$$

Durch die Zerstreuungsbrille muss somit der Brechwerth $\frac{1}{15}$ auf $\frac{1}{15{,}78}$ sinken, und wenn das *B*-Auge auf 300 accommodirt, so erhebt sich sein Brechwerth auf $\frac{1}{15}$.

Es wird $$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{15{,}78}{300 - 15{,}78} = 0{,}0555,$$

während bei *E* und Accommodation für 300

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{14{,}285}{300 - 14{,}2 \,..} = 0{,}05.$$

Das Netzhautbild des auf 300 accommodirten *AMB* ist also um 0,0055 grösser, als jenes des accommodirten *E*, und die Brille vergrössert demnach die Retinalbilder.

40. Grösse der Retinalbilder im axenhyperopen Brillenauge.

Das Auge von *AH* 30 hat eine Axenlänge *A*

$$\frac{3}{A} - \frac{2}{300} = \frac{1}{7{,}5} \text{ also } A = 21{,}42\ .\ .$$

Es ist also der Brechwerth $\frac{3}{2 \times 21{,}42} = \frac{1}{14{,}28}$ für dieses Auge gefordert, damit es emmetropisch functionire, denn

$$\frac{1}{14{,}28} = \frac{1}{15} + \frac{1}{300}$$

Es wird also bei der Accommodation für 300

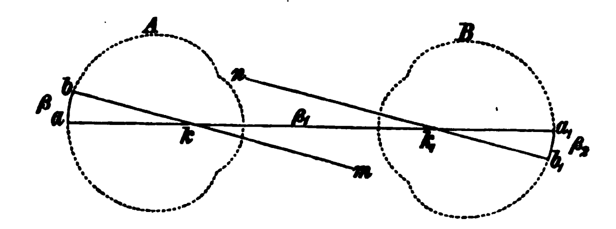
$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{14{,}28}{300 - 14{,}28} = 0{,}05$$

und daher keine merkbare Aenderung in der Grösse der Bilder, im Vergleiche mit Emmetropen hervorgebracht.

41. Die ophthalmoskopische Vergrösserung im aufrechten Bilde.

a) Untersuchung des Emmetropen durch einen Emmetropen.

Fig. 10.



Hier verhalten sich die Netzhautbilder wie die Abstände der Knotenpuncte von der Netzhaut. Wenn diese gleichwerthig sind (was allerdings nicht immer der Fall ist), so ist auch das Netzhautbild im Auge des Beobachters von gleicher Grösse wie das Object.

Denn wenn von den Puncten ab der Netzhaut des Auges A, welches emmetropisch eingestellt ist, parallele Lichtstralen aus dem Auge kommen, so ist bkm der Richtungsstral für den Punct b, und ein demselben paralleler Stral $b_1 k_1 n$ fällt im Puncte b_1 auf die Netzhaut des Auges B, wo demnach das umgekehrte Bild des Punctes b ist. Ebenso ist a_1 das Bild des Punctes a und wenn $ak = a_1 k$, so ist auch $a_1 b_1 = ab$.

Es ist nemlich

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{\infty}{15} \text{ und } \frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{15}{\infty}, \text{ also } \beta_2 = \frac{15}{15} \cdot \frac{\infty}{\infty} = 1.$$

Nun ist nach optischen Gesetzen allgemein Object und Bild von gleicher Grösse, wenn die Objectferne gleich der doppelten Brennweite wird. (15.) Durch die als Loupe wirkenden collectiven Medien des untersuchten mittleren Auges wird daher dessen Netzhaut gleichsam in $2\,F_1 = 30$ m/m Entfernung vor das Auge des Beobachters verschoben, diesem Auge also so sehr genähert, dass es dieselbe bei entspannter Accommodation unter einem viel grösseren Gesichtswinkel als gewöhnlich betrachten kann.

Es kommt also Alles darauf an, zu erklären, unter welchem Gesichtswinkel, oder bei welcher Entfernung wir g e w ö h n l i c h ein Object von den Details der blosliegenden Netzhaut anschauen oder untersuchen können, um einen Massstab für die Vergrösserung bei dieser Art Loupenuntersuchung zu gewinnen.

Wir müssen die normale Sehschärfe oder Sehweite für Objecte von beiläufig 1 m/m Durchmesser mit der Loupenannäherung des Objectes, und die diesen Entfernungen entsprechenden Bilder mit einander vergleichen.

Wenn ein 1 m/m grosses Object in 2 F_1 Entfernung vom Auge, oder in 1 F_1 Entfernung vom vorderen Brennpuncte F_1 steht, wenn also die Brennobjectferne $l_1 = F_1$ ist, so ist sein

Retinalbild $\beta_1 = 1$ m/m. Wird $l_1 = 2\ F_1$ so ist $\beta_1 = \frac{1}{2}$, wenn $l_1 = 3\ F_1$ so ist $\beta_1 = \frac{1}{3}$ u. s. w. Beträgt nun die deutliche Sehweite des mittleren Auges, vom vorderen Brennpunct gerechnet, $20\ F_1 = 300$, so ist in dieser Entfernung die Grösse des Bildes $\frac{F_1}{l_1} = \frac{15}{300} = \frac{1}{20} = 0{,}05$.

Die Sehnerven-Papille des Untersuchten von 1,5 Grösse würde in dieser Entfernung ein $1{,}5 \times 0{,}05 = 0{,}075$ grosses Retinalbild auf der Netzhaut des Untersuchenden geben. Ist nun aber bei der Loupenuntersuchung das Bild derselben 1,5 gross, so beträgt die Loupenvergrösserung $\frac{1{,}5}{0{,}075} = 20$, und auf einem à double vue in 300 m/m Entfernung vom vorderen Brennpuncte aufgestellten Massstabe muss dieses Retinalbild $1{,}5 \times 20 = 30$ m/m des Massstabes decken.

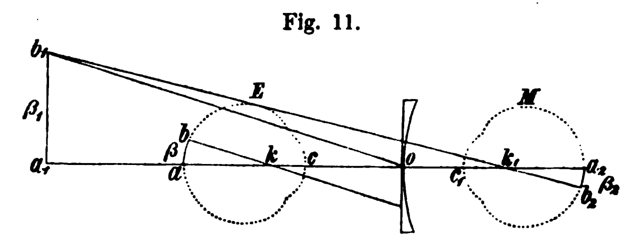
Es liegt hier offenbar der eigenthümliche Fall vor, dass bei der Loupenuntersuchung das Auge des Beobachters von parallelen Lichtstralen eines Objectes getroffen wird, welches aber nicht in ∞, wie es eigentlich gefordert wird, liegt, sondern in der scheinbaren Entfernung von 30 m/m, welche auf jene von 300 m/m bezogen wird. Es ist desshalb die Vergrösserung auch nicht $= \infty$, sondern sie ist bloss eine 20fache. Aber weil das Auge von parallelen Stralen getroffen wird, erhält es ohne Anspruchname der Accommodation ein deutliches Bild von dem auf 30 m/m genäherten Objecte. Wir haben es daher mit einer optischen Täuschung zu thun, welche durch die Loupenuntersuchung entsteht. Die parallelen, unser Auge treffenden Lichtstralen würden uns berechtigen, das Object als unendlich verkleinert anzunehmen, da es ja in unendlicher Entfernung liegen müsste. Aber das Retinalbild ist nicht verkleinert, sondern in dem Grade vergrössert, als ob das Object aus der deutlichen

Sehweite von 300 auf die Entfernung von 30 m/m verschoben wäre. Diese Täuschung wird à double vue manifestirt. Denn, wenn das freie Auge auf den in 300 m/m Entfernung stehenden Massstab accommodirt, muss auch das ophthalmoscopirende Auge im selben Momente auf diese Entfernung accommodiren, und das Retinalbild der Papille des Untersuchten muss in myopischen Zerstreuungskreisen erscheinen, weil eine gleichzeitige Einstellung auf ∞ und 300 m/m unmöglich ist!

Die oben angenommene Vergrösserung von 20 ist übrigens keine constante, weil die deutliche Sehweite bei verschiedenen Individuen mit der vorderen Brennweite wechselt. Desshalb kann auch die heute beliebte Annahme einer deutlichen Sehweite von 8 Zoll (216 m/m) für die Betrachtung kleiner Objecte nur mit einem Reservat gelten. Die Vergrösserung kann allerdings nicht bis in's Unendliche gesteigert werden, denn die Sehschärfe jedes Auges hat eine endliche Grenze. Aber unter günstigen Umständen kann dss Distinctionsvermögen der Netzhaut selbst über Retinalbilder von $0{,}05 = \frac{1}{20}$ hinausgehen, und die deutliche Sehweite daher mehr als 11,5 Zoll (315 m/m) betragen, so dass die äusserste Grenze der Sehweite nicht in 8 Zoll, sondern bis in 12,5 (337,5 m/m) angenommen werden kann.

b) Untersuchung eines Emmetropen *E* durch einen Axenmyopen *AM*.

Fig. 11.



Wenn ein *AM* von 1,6 Axenverlängerung einen *E* untersucht, so muss er zunächst sein Auge durch eine passende

Concavbrille für die aus dem Auge E kommenden parallelen Lichtstralen einrichten. Es ist für das mittlere Auge, wenn $l_2 = 1{,}6$ ist, $l_1 = \frac{337{,}5}{1{,}6} = 210$, daher die Concavbrille 21 cm. in der Entfernung $oc_1 = 15$ m/m corrigirt.

Die Axenlänge des Auges M beträgt $22{,}5 + 1{,}6 = 24{,}1$ und $k_1 a_2 = 24{,}1 - 7{,}5 = 16{,}6$. Die von dem Objecte

$$ab = \beta = 1$$

des Auges E kommenden parallelen Lichtstralen werden durch das Brillenglas o so zerstreut, dass ihr imaginärer Vereinigungspunct sich in $a_1 b_1$, in der Brennweite $a_1 o$ der Brille von 21 cm. befindet. Dadurch ist das AMB in ein emmetropes verwandelt, und die von $a_1 b_1 = \beta_1$ kommenden Lichtstralen vereinigen sich in $a_2 b_2 = \beta_2$ auf seiner Netzhaut.

Es ist also $$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{a_1 o}{ak} = \frac{210}{15} = 14$$

und $$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{a_2 k_1}{a_1 k_1} = \frac{16{,}6}{210 + 22{,}5}; \text{ also } \beta_2 = \frac{16{,}6 \times 14}{232{,}5} = 1.$$

Das Retinalbild ist somit von gleicher Grösse wie das Object, und die Vergrösserung des Retinalbildes in M ist eine 14malige. Die Papille von 1,5 Grösse muss also in $a_1 b_1$ à double vue von der Grösse $14 \times 1{,}5 = 21$ erscheinen.

Würde der AM weiter als nach a_1 projiciren, so möchte das Retinalbild undeutlich werden, aber er kann eventuell auch näher hin projiciren, wenn seine Accommodation valide ist, wodurch die scheinbare Vergrösserung geringer würde. Der Werth der mathematischen Vergrösserung bleibt aber immer für unseren Fall = 14, und wird durch die Lage des Fernpunctes bestimmt, für welche die Brennweite der Brille passend gewählt werden musste.

c) Untersuchung des *E* durch einen Krümmungsmyopen *KM*.

Setzen wir in Fig. 11 für *AM* eine *KM* des mittleren Auges von $l_2 = 1,6$, so ist die hintere Brennweite desselben $F_2 = 22,5 - 1,6 = 20,9$, somit der Krümmungsradius

$$r = \frac{20,9}{3} = 6,966 = 7$$

und die vordere Brennweite $F_1 = 2r = 13,933$; daher

$$a_2k_1 = 22,5 - 7 = 15,5.$$

Das Brennweitenproduct ist 291,2, und es muss somit die Concavbrille 29,1 cm. in 14 m/m vor dem *KM* Auge stehen damit es emmetropisch functionire. Es ist also

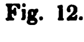
$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{291}{15} = 19,4 \text{ und } \frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{k_1\,a_2}{k_1\,a_1} = \frac{15,5}{313} \text{ und}$$

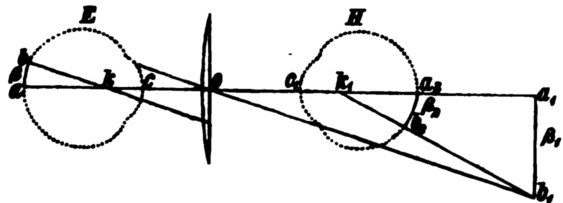
$$\beta_2 = \frac{15,5 \times 19,4}{313} = \frac{300,7}{313} = 0,960.$$

Das Retinalbild ist also kleiner als das Object, und die Papille wird $1,5 \times 0,96 = 1,44$ gross sein. A double vue muss sie in a_1 auf die Entfernung von 30,6 cm. erscheinen

$$1,44 \times 19,4 = 28 \text{ m/m gross.}$$

d) Untersuchung des *E* durch einen Axenhyperopen *AH*.


Fig. 12.



Wenn ein *AH* einen *E* untersucht, so muss er vorerst sein Auge durch eine passende Convexbrille neutralisiren. Beträgt die Axenverkürzung $l_2 = -1,6$, so ist

$l_1 = -\frac{337,5}{1,6} = -210$, daher die Convexbrille 21 cm. n der Entfernung $oc_1 = 15$ corrigirt. Die Axenlänge des Auges H beträgt $22,5 - 1,6 = 20,9 = 21$ nahe, also $a_2 k_1 = 13,5$.

Die von dem Objecte $ab = \beta = 1$ des E kommenden parallelen Lichtstralen werden von dem Glase o so gesammelt, dass ihr Vereinigungspunct sich in $a_1 b_1$, in der Brennweite oa_1 der Brille befindet. Dadurch ist AH in ein emmetropes Auge verwandelt, und die von $a_1 b_1$ kommenden Lichtstralen vereinigen sich in $a_2 b_2$ auf seiner Netzhaut. Es ist also

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{210}{15} = 14 \text{ und } \frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{13,5}{210 - 22,5};$$

daher $$\beta_2 = \frac{13,5 \times 14}{187,5} = 1 \text{ nahe.}$$

Das Retinalbild ist somit von gleicher Grösse wie das Object, und die Vergrösserung ist eine 14malige. Die Papille von 1,5 Grösse muss also à double vue von der Grösse $14 \times 1,5 = 21$ erscheinen.

e) Untersuchung des E durch einen Krümmungs-hyperopen KH.

Setzen wir in Fig. 12 an Stelle von AH eine KH des mittleren Auges von $l_2 = 1,6$, so ist die hintere Brennweite dieses Auges $F_2 = 22,5 + 1,6 = 24,1$, der Radius

$$r = \frac{24,1}{3} = 8,03$$

und die vordere Brennweite $F_1 = 16,06$, also $F_1 F_2 = 387$. Es muss also $+ 38,7$ cm. corrigiren, und 16,06 vor dem Auge stehen, und $a_2 k_1 = 22,5 - 8 = 14,5$.

Es ist somit

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{387}{15} = 25,8; \text{ und } \frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{14,5}{363};$$

also $$\beta_2 = \frac{14,5 \times 25,8}{363} = \frac{374}{363} = 1,03.$$

Das Retinalbild ist also etwas grösser, und die Papille 1,545 gross, daher à double vue in 27 cm. Entfernung nahe 40 m/m gross.

42. *a)* Untersuchung des Axenmyopen *AM* durch einen Emmetropen *E*.

Wir haben hier das umgekehrte Verhältniss von (Fig. 11.) Wenn ein *AM* von 1,6 Axenverlängerung durch einen *E* untersucht wird, so muss der *E* durch eine passende Concavbrille den *AM* in einen *E* verwandeln. Es ist für das mittlere Auge, wenn $l_2 = 1,6$ ist, $l_1 = \frac{337,5}{1,6} = 210$, und wenn die Concavbrille in der Entfernung $oc_1 = 30$ vor dem *AM* steht, muss ihre Brennweite sein

$210 - 15 = 195$. Die von dem Objecte $a_2 b_2 = \beta_2 = 1$ des *AM* kommenden, nach $a_1 b_1$ convergirenden Stralen werden durch das Brillenglas o so zerstreut, dass sie aus convergirenden in parallele Stralen umgewandelt werden. Dadurch ist *E* in den Stand gesetzt, die von $a_2 b_2$ kommenden Stralen auf seiner Netzhaut zu vereinigen.

Es ist also

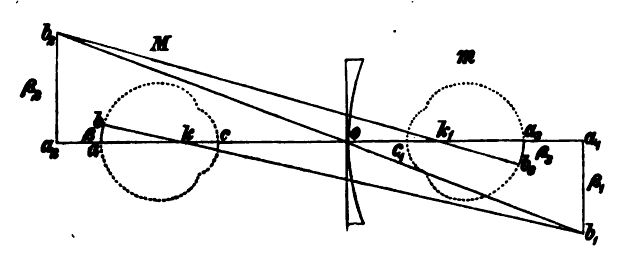
$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{a_1\, k_1}{a_2\, k_1} = \frac{232,5}{16,6} = 14; \text{ und } \frac{\beta}{\beta_1} = \frac{15}{195};$$

daher $$\beta = \frac{15 \times 14}{195} = \frac{210}{195} = 1,076.$$

Das Retinalbild β ist somit etwas grösser, bedingt durch die Aenderung der Distanz. Die Papille des *M* wird, wenn sie 1,5 gross ist, 1,6 gross erscheinen, und à double vue wird sie in 14 F_1 Entfernung 22,6 gross sein.

b) Untersuchung des *AM* durch einen Axenmyopen.

Fig. 18.



Wenn sowohl der Untersuchende *m* als Untersuchende *M* myopisch ist, dann finden wir die zur Correction nöthige Brennweite *p* Concavbrille nach der allgemeinen Formel

$$\frac{1}{p} = -\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}\right)$$

In unserem Falle ist für die in *o* stehende Concavbrille die Objectferne *a* negativ, indem die aus dem Auge *M* von *ab* kommenden Lichtstralen nach $a_1 b_1$ convergiren. Bezeichnen wir die Sehweite $a_1 c$ des Auges *M* mit *S*, und seine Distanz von der Brille mit *d*, so ist für die Brille die Objectferne

$$a = oa_1 = -(S - d).$$

Ebenso ist die Bildweite $\alpha = a_2 o$ negativ, und bedeutet die um die Distanz d_1 verminderte Sehweite S_1 des Auges *m*. Es ist daher

$$-p = \frac{(S - d)(S_1 - d_1)}{(S - d) + (S_1 - d_1)}$$

Beträgt also $S - d$ und ebenso $S_1 - d_1$ den Werth von 300 m/m und beträgt die Distanz in beiden Augen 15 m/m, so ist $p = 150$ m/m oder nahe 5 Zoll.

Die Grösse der Retinalbilder berechnet sich nun folgendermassen: In beiden Augen ist $l_1 = 300$, also $l_2 = \frac{337,5}{300} = 1,125$, ak und $a_1 k_1 = 16,125$, also $\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{322,5}{16,125} = 20$. Ebenso

ist für die Brille die Objectferne gleich der Bildweite und beide sind negativ, also $\beta_1 = \beta_2$.

Es muss daher auch $\beta_3 = \beta$ sein, und das Retinalbild ist abermals gleich gross wie das Object. Die Vergrösserung ist eine 20fache, und die Papille muss à double vue in der Entfernung von 315 m/m = $20 \times 1,5 = 30$ m/m gross erscheinen.

Wenn die Myopie in M und m von ungleichem Grade ist, und ebenso die Distanzen ungleich sind, dann wird das Resultat anders ausfallen.

Untersucht ein m 33,75 einen M 16,87, und die Brille steht für m in 15, für M in 30 m/m Distanz, so ist

$$ak = 17,\quad ca_1 = 168,7,\quad co = 30,\quad oa_1 = 138,7,\quad a_3 k_1 = 16,$$
$$c_1 b_2 = 337,5,\quad ob_2 = 322,5,\quad oc_1 = 15,$$

also ist $\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{168,7 + 7,5}{17} = 10,3$ und $\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{337,5 - 15}{168,7 - 30}$, also $\beta_2 = 23,69$. Daher $\frac{\beta_3}{\beta_2} = \frac{16}{337,5 + 7,5}$, also $\beta_3 = 1,08974$.

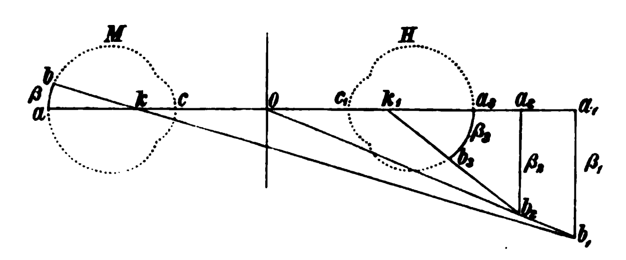
Das Retinalbild β_3 ist also 1,08974 grösser als das Object, und die Papille von 1,5 gibt ein 1,634 grosses Retinalbild, die Vergrösserung ist eine 21,8malige. A double vue müsste für das Auge m das Papillenbild in 337,5 Distanz 36 m/m gross erscheinen. Für eine Projection in geringerer Distanz würde allerdings die Vergrösserung à double vue geringer ausfallen, und könnte hiezu auch eine schwächere Brille gewählt werden.

Die Correctionsbrille für unseren Fall ist

$$p = \frac{(168,7 - 30)\,(337,5 - 15)}{(168,7 - 30) + (337,5 - 15)} = 97 \text{ oder nahe } 3\,{}^1\!/\!_2 \text{ Zoll.}$$

c) Untersuchung des *AM* durch einen Axenhyperopen *AH*.

Fig. 14.



Hier kann offenbar der Fall vorkommen, dass sich die beiden Refractionsfehler gegenseitig neutralisiren, so dass keine Correctionsbrille nöthig wird.

Wenn keine Neutralisation stattfindet, dann muss der Hyperop vorerst sein Auge entweder durch eine Concav- oder Convexbrille corrigiren.

Wenn *AM* 30 und *AH* 20 in der Distanz 10 sich befinden, so findet vollständige Neutralisation statt. Wenn dagegen *AM* 30 und *AH* 30 in der Distanz 10 sich befinden, dann muss die Differenz von 10 cm. durch eine Convexbrille $\frac{1}{20} - \frac{1}{30} = \frac{1}{60}$ cm. ausgeglichen werden, umgekehrt durch eine Concavbrille $\frac{1}{60}$.

Wenn in Fig. 14 *ab* eine Retinalpartie in dem *AM* ist, so ist in $a_1\, b_1$ ihr Luftbild. Hat das Auge *AM* eine Axenverlängerung von 1 m/m, so ist

$$ak = 15 + 1 = 16 \text{ und } ca_1 = 337{,}5 + 15 = 352{,}5.$$

Der Radius *ck* dieses mittleren *AM* ist = 7,5 geblieben. Es ist also

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{a_1\, k}{ak} = \frac{360}{16} = 22{,}5.$$

Durch die Convexbrille *o* werden nun die von $a_1\, b_1$ kommenden Lichtstralen nach $a_2\, b_2$ vereinigt, und es ist, wenn das

Auge AH eine Axenverkürzung von 2 m/m hat, für dieses Auge $l_1 = 178{,}75$, also muss auch für die 15 m/m vor dem Auge AH stehende Brille $oa_2 = 178{,}75$ sein. Wenn die Distanz derselben von dem AM Auge 30 m/m beträgt, so ist $oa_1 = 322{,}5$, also

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{oa_2}{oa_1} = \frac{178{,}75}{322{,}5} \text{ und } \beta_2 = 12{,}47.$$

Die von $a_2 b_2$ kommenden Stralen werden jetzt durch das Auge AH so gebrochen, dass sie sich auf der Netzhaut in $a_3 b_3$ vereinigen und es ist

$$\frac{\beta_3}{\beta_2} = \frac{k_1 a_3}{k_1 a_2} = \frac{13}{156{,}25}, \text{ also } \beta_3 = 1{,}6211.$$

Die Vergrösserung ist also sehr erheblich und beträgt $\frac{1{,}6211}{0{,}05} = 32{,}4$. Das Bild der Papille von 2,431 wird à double vue erscheinen $12{,}47 \times 2{,}431 = 30{,}31$.

43. *a)* Untersuchung des Axenhyperopen *AH* durch einen Emmetropen *E*.

Diess ist der umgekehrte Fall von Fig. 12 und es muss die AH durch eine passende Convexbrille neutralisirt werden. Beträgt die Axenverkürzung $l_2 = -1{,}6$, so ist $l_1 = -\frac{337{,}5}{1{,}6} = -210$, und die Convexbrille 21 würde corrigiren, wenn sie 15 m/m vor dem AH steht. Wird die Brille aber 30 m/m vom Auge AH gestellt, so muss sie 22,5 cm. Brennweite haben. Nunmehr ist $k_1 a_2 = 15 - 1{,}6 = 13{,}4$ und

$$k_1 a_1 = 225 - 37{,}5 = 187{,}5.$$

Es ist also

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{k_1 a_1}{k_1 a_2} = \frac{187{,}5}{13{,}4} = 14 \text{ nahe, und } \frac{\beta}{\beta_1} = \frac{ak}{a_1 o} = \frac{15}{225};$$

daher $\beta = \frac{15 \times 14}{225} = \frac{210}{225} = 0{,}933$. Das Retinalbild der Pa-

pille des H ist also verkleinert, und bloss 1,4 gross, und wird à double vue $14 \times 1,4 = 19,6$ erscheinen.

b) Untersuchung des *AH* durch einen Axenmyopen *AM*.

Diess ist der umgekehrte Fall von Fig. 14, und es kann abermals der Fall vorkommen, dass gegenseitige Neutralisation stattfindet. Wenn diess nicht geschieht, dann muss entweder eine Concav- oder Convexbrille zur Correction gewählt werden. Wir wollen hier ein Beispiel anführen, wo ein Concavglas nöthig ist.

Wenn (Fig. 14) AH 33,75 besteht, also $c_1 a_2 = 337,5$ ist, und es wird dieses Auge durch den AM 18,37 untersucht, so dass $ca_1 = 183,7$ ist, dann ist die Axenverlängerung des $AM : l_2 = 2$ und $ak = 17$; die Axenverkürzung des AH ist $l_2 = -1$, also $a_3 k_1 = 14$. Wenn die beiden Augen 45 m/m von einanderstehen, und der Brillenabstand vom AM Auge $co = 15$ und jener vom AH Auge $c_1 o = 30$ beträgt, so ist die Objectferne für die Brille $a_2 o = 367,5$ und die Bildweite muss sein $oa_1 = 168,7$, also muss die Zerstreuungsbrille 31 cm. (31,18) gewählt werden.

Es ist also $\frac{\beta_2}{\beta_3} = \frac{k_1 a_2}{k_1 a_3} = \frac{330}{14} = 23,5$ und

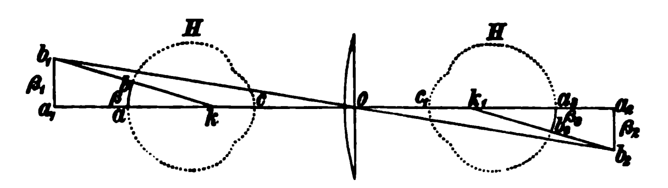
$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{oa_1}{oa_2} = \frac{168,7}{367,5}, \text{ also } \beta_1 = 10,79 \text{ und } \frac{\beta}{\beta_1} = \frac{ka}{ka_1} = \frac{17}{191,2}$$

daher $\beta = 0,95$.

Das Retinalbild von AH erscheint also im AM um 0,95 verkleinert und die Papille ist 1,425 gross. Sie wird à double vue in $a_1 b_1$ gross sein $1,425 \times 11,2 = 16$.

c) Untersuchung des *AH* durch einen Axenhyperopen.

Fig. 15.



Wenn *AH* durch *ah* untersucht wird, und die beiderseitige *H* 32,25 und die Distanz der Convexbrille von *AH* beträgt 35, jene vom *ah* aber 15 m/m, so ist für die Brille die Objectferne $a_1 o = 322{,}5 + 35 = 357{,}5$ und die Bildweite

$$oa_2 = 322{,}5 + 15 = 337{,}5,$$

also die inverse Brennweite der Brille

$\frac{1}{337{,}5} + \frac{1}{357{,}5} = \frac{1}{173{,}6}$. Die Brennweite der Convexbrille beträgt demnach nahe 6,5 Zoll. Die Axenverkürzung beträgt beiderseits 1 m/m, also $ak = a_3 k_1 = 14$ m/m.

$$\text{Es ist nun } \frac{\beta_1}{\beta} = \frac{a_1 k}{ak} = \frac{322{,}5 - 7{,}5}{14} = \frac{315}{14} = 22{,}5 \text{ und}$$

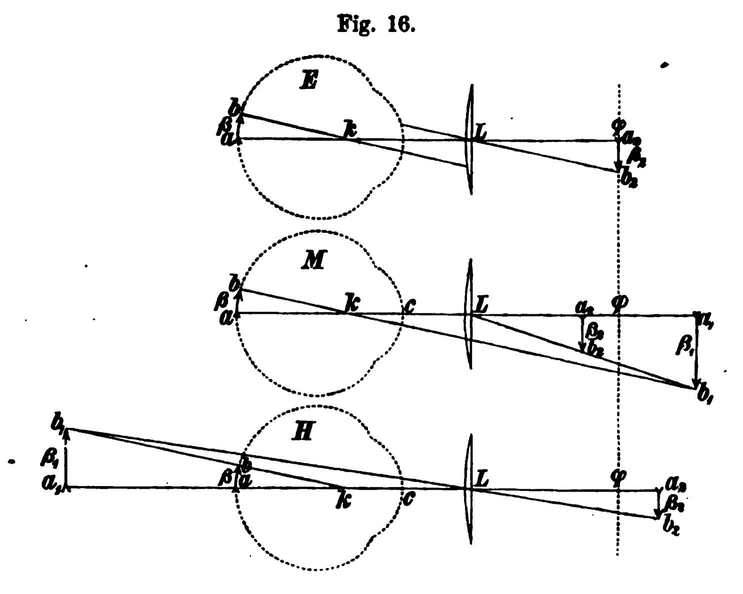
$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{a_2 o}{a_1 o} = \frac{337{,}5}{357{,}5}, \text{ also } \beta_2 = 21{,}01, \text{ daher}$$

$$\frac{\beta_3}{\beta_2} = \frac{k_1 a_3}{k_1 a_2} = \frac{14}{315}, \text{ also } \beta_3 = 0{,}933.$$

Das Bild der Papille ist also $0{,}933 \times 1{,}5 = 1{,}4$ gross, und die Vergrösserung beträgt $\frac{0{,}933}{0{,}05} = 18{,}66$. Das Papillenbild wird à double vue $1{,}4 \times 21{,}01 = 29{,}414$ gross sein in der Distanz von 32 cm.

44. Ophthalmoskopische Untersuchung im umgekehrten Bilde.

Fig. 16.



Bei dieser Art der Untersuchung wird in eine bestimmte Distanz $d = kL$ von dem Auge einer Convex-Linse L, welche eine kurze Brennweite (am besten von 5 cm.) besitzt, aufgestellt, und durch diese von dem Objecte $ab = \beta$ der Netzhaut ein umgekehrtes Luftbild $a_2 b_2 = \beta_2$ erzeugt, welches der Beobachter aus der Entfernung seiner deutlichen Sehweite unmittelbar betrachtet.

A) Lage des Bildes β_2. Wenn man die Entfernung des Luftbildes von der Linse $La_2 = \alpha$, also die Bildweite der Linse sucht, so ist

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{a}$$

wobei p die Brennweite der Linse, und a die. Objectferne bedeutet. Es sind nun hier drei Fälle möglich.

a) Für die Untersuchung des Emmetropen E, ist, weil parallele Stralen vom untersuchten Auge auf die Linse gelangen,

die Objectferne $a = \infty$, also die Bildweite α gleich der Brennweite p der Linse. Ist also $p = 5$ cm., so ist auch $\alpha = La_2 = 5$; denn es ist $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{p}$.

b) Für die Untersuchung des Myopen M, wo convergirende Stralen auf die Linse gelangen, ist die Objectferne a negativ, also $a = - a_1 L$. Nun ist dieser Werth gleich der Sehweite S des Myopen, vermindert um die Distanz d des Auges von der Linse, also

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{-(S-d)} = \frac{1}{p} + \frac{1}{S-d}$$

Wenn $p = 5$ cm. und $d = kL = 2$ cm. und $S = 20$ cm. ist, so wird

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{5} + \frac{1}{18} = \frac{1}{3{,}91}$$

Das Bild β_2 liegt demnach rund 4 cm. hinter der Linse

c) Für die Untersuchung des Hyperopen H 20, wo divergirende Stralen auf die Linse L gelangen, ist die Objectferne a positiv und $a_1 L = S + d$, also

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p} - \frac{1}{S+d}$$

Beträgt die $H = a_1 c = 20$ cm. und die Distanz 2 cm., so ist

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{5} - \frac{1}{22} = \frac{1}{6{,}48}$$

Das Bild β_2 liegt also rund 6,5 cm. hinter der Linse.

B) Vergrösserung. *a)* Für Emmetropie E ist

$$\frac{\beta_2}{\beta} = \frac{p}{ak}$$

Beträgt also $p = 5$ und $ak = 1{,}5$ cm., so ist die Vergrösserung

$$\beta_2 = \frac{5}{1{,}5} = 3{,}33.$$

Das Papillenbild wird in diesem Falle 6 m/m gross sein.

b) Für Myopie *M* 20 wo $ka_1 = 207,5$ und $ka = 16,8$ ist, wird

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{ka_1}{ka} = \frac{207,5}{16,8} = 12,3$$

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{La_2}{La_1} = \frac{\alpha}{S - d} = \frac{4}{18}$$

also beträgt die Vergrösserung

$$\beta_2 = \frac{4 \times 12,3}{18} = 2,73$$

und das Papillenbild wird 4 m/m gross sein.

c) Für Hyperopie *H* 20, wo $ka_1 = 192,5$ und $ak = 13,5$ beträgt, ferner $\alpha = 6,5$ und $d = 15$

$$\frac{\beta_1}{\beta} = \frac{a_1 k}{ak} = \frac{192,5}{13,5} = 14,2$$

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{L\,a_2}{L\,a_1} = \frac{64,5}{215}$$

also beträgt die Vergrösserung

$$\beta_2 = 4,2.$$

Das Papillenbild wird 6,3 m/m gross sein.

Im Allgemeinen ist daher die Vergrösserung bei *M* geringer und bei *H* grösser als bei *E*.

C) Bestimmung des Refractionszustandes im umgekehrten Bilde. Da wir bei dieser Art von Untersuchung allgemein mit der Gleichung $\frac{1}{p} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ rechnen, und sich das in f_2 hinter der Sammellinse entstehende umgekehrte Bild mittelst eines Schirmes oder Gitters auffangen, und f_2 mittelst einer Scala messen lässt, so kann auch, weil p und f_2 bekannt sind, der Werth von f_1 oder die implicirte Sehweite des Untersuchten berechnet werden. Denn es ist allgemein $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p} - \frac{1}{f_2}$ und für Myopie ist $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{f_2} - \frac{1}{p}$.

Sei also $p = 5$ und $f_2 = 4$ so ist $f_1 = 20$, und da f_1 die um die Distanz d des Auges von der Linse verminderte Seh-

weite S bedeutet, so ist, wenn $d = 2$ ist, $f_1 = S - d$, also $S = f_1 + d = 22$ cm. Wir haben also M 22.

Für Hyperopie ist $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{p} - \frac{1}{f_2}$. Ist also $p = 5$ und $f_2 = 6{,}5$, so ist $f_1 = 21{,}66$, und da f_1 die um die Distanz vermehrte Sehweite bedeutet, so ist, wenn $d = 2$ beträgt, $f_1 = S + d$ und $S = f - d = 19{,}66$.

Wir haben also H 19,6.

Wenn die Untersuchungslinse eine kurze Brennweite, wie oben von 5 cm. hat, so sind die Differenzen der Bildweite für verschiedene Refractionsfehler nur unerheblich, und können daher auch leicht Messungsfehler von f_2 vorkommen. Diese werden geringer, wenn man Linsen von grösserer Brennweite z. B. von 10 cm. wählt. Jedenfalls eignet sich die Untersuchung im umgekehrten Bilde zu einer aproximativen Bestimmung der Refraction ganz wohl, und kann bei zweckmässiger Einrichtung des Schirmes, ferner, wenn das Bild im mit einer Scala versehenen Röhrenspiegel aufgefangen wird, gewiss dieselbe Genauigkeit, wenn nicht eine grössere, als bei der heute vielleicht nicht ganz mit Recht so beliebten Refractionsbestimmung im aufrechten Bilde erreicht werden. — Für höhere Formen von M kann man die Linse ganz weglassen. Besser ist es, ihre Distanz sehr klein zu wählen, und zwar bei M umsomehr, je kürzer die Brennweite der Linse, und je höhergradriger M; bei H kann dagegen die Distanz grösser sein.

Die Vergrösserung kann hier auch durch positive Oculare gesteigert werden. Ist die Brennweite der Objectlinse 2 und jene der Ocularlinse 1, so vergrössert Letztere 2mal. Es wäre also wünschenswerth, schwache Objective und starke Oculare zu wählen. Beträgt die Ocularvergrösserung für unsere obigen Fälle 2, so wäre hiedurch für E eine 6,6, für M eine 5,46 und für H eine 8,4malige Vergrösserung zu erreichen.



5

ÜBER DIE BENÜTZUNG

FOLIIRTER GLASLINSEN

ZUR

UNTERSUCHUNG DES AUGENGRUNDES.

VON

PROF. JOSEF v. HASNER.

PRAG.

J. G. CALVE'SCHE VERLAGS-BUCH-HANDLUNG. FIRMA: F. TEMPSKY.

1855.

Artistisch-typographisches Institut von Carl Bellmann.

Jede sorgfältigere Untersuchung mit dem Augenspiegel erheischt eine doppelte Darstellungsmethode des Augengrundes: jene im umgekehrten und im aufrechten Bilde. Während die eine dieser Methoden grössere Partien des Objectes auf einmal zur Anschauung bringt, und so die Orientirung erleichtert, macht die andere eine genauere Detailerforschung möglich; man wird daher in den meisten Fällen erst nach Vergleichung der Resultate beider sich mit Sicherheit über den Befund aussprechen können.

Da diese Methoden nicht allein durch den Correctionsapparat, sondern auch durch die Stellung desselben zum Reflector, zum Untersuchenden und Kranken sich wesentlich von einander unterscheiden, so wird, will man die Untersuchung sicher und bequem ausführen, für die Anwendung jeder derselben auch ein eigenes Instrument construirt werden müssen.

Bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde ist die richtige Centrirung der Linsen und Diaphragmen, leichte Auffindung und Fixirung des Bildes, so wie die Darstellung desselben in grösster Deutlichkeit nur dann möglich, wenn sich die Sammellinsen und der Reflector in einer verschiebbaren Röhre befinden, die überdiess mit dem untersuchten Auge in Verbindung gebracht werden kann. Wir werden hiezu immer ein Instrument am besten brauchen können,

welches ähnlich einem Fernrohr construirt, auch wie dieses zu handhaben ist.

Wenn viele Oculisten die Untersuchung im umgekehrten Bilde in der Art vornehmen, dass sie den Spiegel in einer, die Objectivlinse in der andern Hand halten, so ist diese sogenannte Vereinfachung der Methode nur scheinbar, und hebt die Vortheile der Untersuchung mit einem Fernrohrspiegel nicht auf. Man kann mit zwei Glas-Linsen, von denen man die eine ans Auge, die zweite in entsprechender Distanz von der ersten mit der Hand frei in der Luft hält, einen fernen Gegenstand sich ganz wohl nach dem Principe des Fernrohres zur Anschauung bringen. Niemand denkt aber an eine solche Vereinfachung der Praxis bei der Untersuchung ferner Objecte, sondern Jedermann findet es passender, die Linsen mit Auszugsröhren in Verbindung zu bringen, weil die Untersuchung hiedurch wesentlich gefördert wird. Das Beispiel vom Fernrohr dürfte wohl auf die Untersuchung des Augengrundes im umgekehrten Bilde voll anwendbar sein.

Die Untersuchung im aufrechten Bilde lässt ihrem Principe nach eine viel einfachere Construction des Apparates zu. Es ist hiebei zunächst wünschenswerth, dass das beobachtende Auge sowohl dem Beobachteten als der Oeffnung im Spiegel möglichst nahe stehe, weil nur dann die Beeinträchtigung des Gesichtsfeldes durch die beiden Durchlassöffnungen der Iris und des Reflectors geringer wird, ja die durch Letztere bedingte ganz entfallen kann.

Was die Aufstellung der Correctionslinse anbelangt, so ist sie sowohl vor als hinter dem Reflector gestattet. Da aber die vor dem Reflector stehende Linse störende Reflexe gibt, so wird es räthlicher sein, sie in allen Fällen hinter demselben anzubringen. Aber auch in letzterem Falle ist es — mit alleiniger Ausnahme der Anwendung unbelegter Plangläser als Reflectoren nach Helmholtz — keineswegs gleichgiltig, in welcher Entfernung die Linsen vom Spiegel stehen.

Sie müssen, wenn das Auge durch die enge Oeffnung der in der Mitte durchbohrten Spiegel nicht einen Theil des Gesichtsfeldes einbüssen soll, ganz nahe an dieser Oeffnung stehen. Nur bei wenigen der bisherigen Apparate ist hierauf genügende Rücksicht genommen. Ich pflege desshalb bei Anwendung derselben die Correctionslinsen unmittelbar an der hinteren Wand des Reflectors mit Wachs aufzukleben, wobei freilich die Gläser und der Apparat für die Dauer leiden. Doch liessen sich die meisten Augenspiegel recht wohl in der Art einrichten, dass die Linsen mit Hilfe einer im Gelenke beweglichen federnden Brillenfassung unmittelbar an die hintere Wand des Spiegels gelegt werden könnten, nach Art jener sinnreichen Vorrichtung, welche beim Augenspiegel von Zehender ausgeführt erscheint.

Sowohl bei der Untersuchung im aufrechten als im umgekehrten Bilde lässt sich aber das erwähnte Verhältniss der Correctionslinse zum Reflector auf eine noch einfachere, und, wie es scheint, nicht ganz unzweckmässige Form zurückführen. Man kann nämlich für die meisten Fälle der Untersuchung den Reflector gleichzeitig als Correctionslinse verwenden.

Der näheren Erörterung der Bedingungen, unter welchen diese Modification des Augenspiegels ausführbar ist, sind die folgenden Zeilen gewidmet.

Zur Correction der aus dem beobachteten Auge kommenden Strahlen werden entweder Sammellinsen oder Zerstreuungsgläser verwendet. Bezüglich der Oberfläche hat man, biconvexe, planconvexe und concavconvexe Sammelgläser biconcave, planconcave, convexconcave Zerstreuungsgläser

Jede Linse lässt nur einen Theil des auffallenden Lichtes hindurchtreten, ein anderer Theil wird verschluckt, ein dritter sowohl von der vordern als hintern Fläche regelmässig reflectirt. Die Reflexion ist unter den gewöhnlichen Verhältnissen so gering, dass sie zur Erleuchtung des Augengrundes nicht wohl benützt werden kann. Belegt man jedoch

die eine der beiden Flächen mit Quecksilberamalgam oder Silber, so wird die Reflexion der Strahlen von der foliirten Fäche unter gewissen Verhältnissen so stattfinden, dass mit Hilfe der Linse eine ebenso intensive Beleuchtung erreicht werden kann, als mit gewöhnlichen Plan- oder selbst Hohlspiegeln.

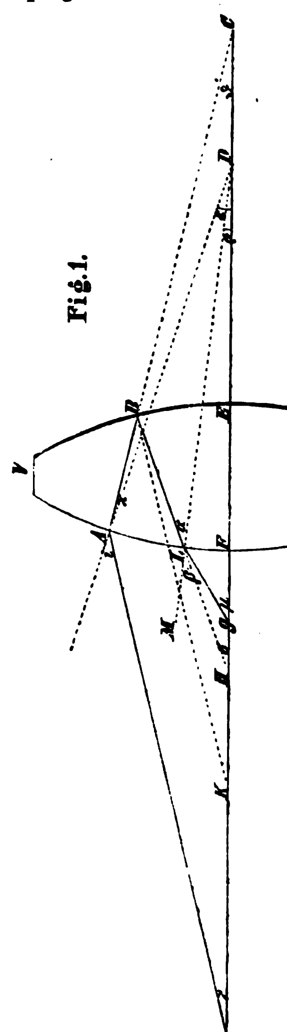


Fig. 1.

Die Richtung der von foliirten Linsen zurückgeworfenen Strahlen ist eine sehr verschiedene; sie wird bestimmt durch den Krümmungshalbmesser der belegten und unbelegten Oberfläche, so wie durch das Brechungsverhältniss des Glases, aus welchem die Linse besteht. Behufs der bequemeren Orientirung in den Grundgesetzen, welche hier gelten, folgt die Entwickelung derselben, und es wird als Beispiel eine foliirte Biconvexlinse gewählt.

Es sei *VW* (Fig. 1) eine Biconvexlinse, deren eine Fläche *VEW* foliirt ist. Fällt ein Lichtstrahl *SA* nahe der Axe *SC* auf die vordere Fläche, so wird derselbe aus Luft in Glas dem Einfalls-Lothe *AD* zugebrochen und nimmt die Richtung *AB*. Er würde, in gerader Richtung verlängert, die Axe in *C* schneiden. Da er aber auf die foliirte Fläche *BE* gelangt, so wird er daselbst in der Weise reflectirt,

dass der Reflexionswinkel *KBL* gleich dem Einfallswinkel *ABK* ist. Auf die vordere Fläche der Linse in *L* zurückgelangt, wird der Strahl *BL* abermals gebrochen, und zwar aus Glas in Luft vom Einfalls-Lothe *DL* weg, nimmt die Richtung *LG* in welchem letzteren Punkte *G* er die Axe schneidet. Hier befindet sich der Vereinigungspunkt der Strahlen, insofern die Linse als Spiegel wirkt. Der Ausdruck für die Brennweite des Spiegels wird in folgender Weise gefunden:

1) Berechnung für den eintretenden Strahl. Nach dem Gesetze, dass sich der Einfallswinkel zum Brechungswinkel verhält, wie das Brechungsvermögen zur Einheit oder

$$\sin i : \sin \varkappa = n : 1 \quad \text{ist}$$
$$\sin i = n \sin \varkappa$$

oder auch wegen der supponirten Kleinheit der Winkel

$$i = n \,.\, k.$$

Nun ist

$$i = \gamma + \varepsilon$$
$$\varepsilon = \varkappa + \vartheta$$
$$\varkappa = \varepsilon - \vartheta$$

daher

$$\gamma + \varepsilon = n\,(\varepsilon - \vartheta)$$

und

$$\gamma = \varepsilon\,(n - 1) - n\,\vartheta$$

Es ist aber auch wegen der Kleinheit der Winkel

$$tg\ \gamma = \frac{FA}{FS} = \gamma$$

$$tg\ \varepsilon = \frac{FA}{FD} = \varepsilon$$

$$tg\ \vartheta = \frac{FA}{FC} = \vartheta$$

Also

$$\frac{FA}{FS} = \frac{FA}{FD}(n-1) - n\frac{FA}{FC}$$

was durch *FA* abgekürzt ergibt

$$\frac{1}{FS} = \frac{1}{FD}(n-1) - n\frac{1}{FC}$$

Bezeichnet man *FS* mit *a*, *FD* mit *r*, *FC* mit *z*, so ist

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{r}(n-1) - n\frac{1}{z} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

2) Berechnung für den austretenden Strahl. Nach dem oben erwähnten Brechungsgesetze ist

$$\sin\beta = n \,.\, \sin\alpha$$

also

$$\beta = n \,.\, \alpha.$$

Nun ist

$$\alpha = \varrho + \sigma$$
$$\beta = \varrho + \mu$$

also

$$\varrho + \mu = n(\varrho + \sigma)$$

und

$$\mu = \varrho(n-1) + n\sigma$$

Es ist aber auch

$$\mu = tg\ \mu = \frac{LF}{FG}$$

$$\varrho = tg\ \varrho = \frac{LF}{FD}$$

$$\sigma = tg\ \sigma = \frac{LF}{FH}$$

also auch

$$\frac{LF}{FG} = (n-1)\frac{LF}{FD} + \frac{nLF}{HF}$$

und durch Abkürzung

$$\frac{1}{FG} = \frac{n-1}{FD} + \frac{n}{HF}$$

bezeichnen wir nun FG mit α, FD wie oben mit r, so ergibt sich

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{r} + \frac{n}{HF} \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

Um nun noch den Werth für $\frac{n}{HF}$ in der Formel (2) zu finden, ist es nöthig, die Gleichung für den Hohlspiegel herbeizuziehen. Sie ist bekanntlich

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p}$$

Bezeichnen wir in unserer Figur den Radius KE der Fläche VEW, welche als Hohlspiegel wirkt, mit R, so ist nach der bekannten Wirkung der Hohlspiegel

$$p = \frac{R}{2}$$

also

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{2}{R}$$

Indem in unserm Falle der Strahl AB convergirend auf den Hohlspiegel fällt und von C herzukommen scheint, ist $a = -z$, $\alpha = HE$ oder, wenn die Dicke der Linse vernachlässigt wird, $= HF$, $R = KE$, also

$$-\frac{1}{z} + \frac{1}{HF} = \frac{2}{R}$$

somit

$$\frac{1}{HF} = \frac{2}{R} + \frac{1}{z}.$$

Wird letztere Gleichung mit n multiplicirt, so folgt

$$\frac{n}{HF} = \frac{2n}{R} + \frac{n}{z} \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

Wird nun der Werth der Formel (3) in die Formel (2) übertragen, so folgt

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{r} + \frac{2n}{R} + \frac{n}{z} \quad . \; . \; . \; . \quad (4)$$

Werden nun die Gleichungen (1) und (4) addirt, so ergiebt sich

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{2(n-1)}{r} + \frac{2n}{R} \quad . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Für parallele Strahlen wird $a = \infty$, daher $\alpha = p$, wenn wir mit p die Brennweite bezeichnen, und es verwandelt sich die Gleichung (5) somit in

$$\frac{1}{p} = \frac{2(n-1)}{r} + \frac{2n}{R}$$

es ist also

$$p = \frac{rR}{2(n-1)\,R + 2nr} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Diess ist der Ausdruck für die Brennweite einer folirten Biconvexlinse.

Wäre die Linse planconvex, so wird $r = \infty$, es verwandelt sich somit die Gleichung (6) in

$$p = \frac{R}{2n}$$

Ist die unbelegte Fläche concav, wobei aber ihr Krümmungsradius immer grösser als jener der belegten bleiben muss, wenn die Linse als Sammellinse wirken soll —, dann ist r in der Gleichung (6) negativ zu nehmen.

In allen obigen drei Fällen bleibt p positiv, doch immer kleiner als der halbe Radius und zwar schwankt die Brennweite bei meniskusförmigen Sammelgläsern zwischen $\frac{R}{3}$ und $\frac{R}{2}$, wobei sie sich letzterem Werthe immer mehr nähert, je mehr sich der Radius r der unbelegten Fläche jenem

der belegten R nähert. Wird endlich $r = R$, dann ist $p = \frac{R}{2}$, die Reflexion der belegten Fläche ist gleich jener eines gewöhnlichen Hohlspiegels.

Man sieht hieraus, dass foliirte Sammelgläser bei allen Formen ihrer Oberflächen im Allgemeinen als Beleuchtungsspiegel gebraucht werden können, indem sie in allen Fällen convergirende Lichtstrahlen reflectiren. In der practischen Optik werden sie zu diesem Zwecke auch bereits lange benützt. Die Frage liegt desshalb nahe, ob solche Gläser auch Behufs der ophthalmoskopischen Untersuchung als Beleuchtungsspiegel zu verwenden sind? Daran schliesst sich von selbst die zweite noch wichtigere Frage: ob, da die Reflexion gesammelten Lichtes in das beobachtete Auge und die Refraction der aus demselben kommenden Strahlen gleich wichtige Factoren der Ophthalmoskopie sind, Sammellinsen nicht gleichzeitig als Spiegel und als Correctionsgläser benützt werden können?

Die Einrichtung des Spiegels zum letzteren Zwecke könnte keinerlei Schwierigkeiten darbieten. Man brauchte nur eine Stelle des Belages in der Axe der Linse zu entfernen, und die Durchsicht wäre dann unbeschadet der Reflexion möglich, ja man hätte den Vortheil, die Durchlassöffnung im Spiegel noch kleiner machen zu können als bei den gewöhnlich üblichen durchbohrten Spiegeln. — Die Beantwortung dieser Fragen ergibt sich nun ohne Schwierigkeit aus einem Vergleiche der Wirkung von Linsenspiegeln mit den Erfordernissen der Augenspiegel.

Wie bereits erwähnt wurde, erfordert jede Augenspiegel-Untersuchung zunächst, dass das beobachtende Auge möglichst nahe hinter der Durchlassöffnung des Reflectors stehe. Sollen nun foliirte Sammellinsen gleichzeitig zur Reflexion und Correction dienen, so könnten sie nur als Oculargläser verwendet werden. Daraus folgt von selbst,

dass sie lediglich zur Untersuchung im umgekehrten Bilde, aber nicht wohl zu jener im aufrechten brauchbar sein werden.

Bewaffnen wir unser Auge mit einer Convexlinse, so werden wir hiedurch, — um die Aenderung mit einem Worte auszudrücken — kurzsichtig. Da wir nun in der Regel im Verhältnisse zur Betrachtung des Augengrundes ohnediess bereits kurzsichtig sind, so müsste selbst bei Anwendung einer schwachen Sammellinse anstatt einer Correction nur ein erhöhtes Missverhältniss der Strahlenbrechung entstehen, und es wäre, selbst wenn dieses Missverhältniss durch Zerstreuungslinsen corrigirbar wäre, mindestens überflüssig, die Sammellinse als Reflector anzuwenden, indem man mit durchbohrten Hohlspiegeln viel einfacher und leichter zum Ziele käme. Die Fälle, wo divergirende Lichtstrahlen vom Augengrunde ausgehen, und eine schwache Sammellinse zur Correction dienlich sein könnte, sind ausserordentlich selten; die Fälle aber, wo bei vorgesetzter Sammellinse keines der vorräthigen Zerstreuungsgläser zur Correction ausreichen würde, dürften sich dagegen sehr häufig ergeben.

Lässt sich nun die foliirte Convexlinse zur Untersuchung im aufrechten Bilde als Ocularglas nicht verwenden, so hat Dr. Klaunig in Leipzig (deutsch. Klinik. 22. April 1854) gerathen, sie in der Mitte zu durchbohren, wo dann die freie Durchsicht durch das Loch im Spiegel möglich ist. In dieser Weise wirkt die Linse aber eben lediglich als Reflector, und es ist sogar zu bezweifeln, ob sie auch selbst diese Aufgabe besser zu lösen im Stande ist, als ein gewöhnlicher Hohlspiegel. Die Durchbohrung muss in der grössten Dicke der Linse geschehen, das Loch im Spiegel wird demnach zu einem Kanale. Nimmt man die Dicke der Linse selbst nur gleich dem Durchmesser der durchbohrten Stelle an, so muss für den Beobachter, welcher in gerader Richtung durchblickt, schon bei einem Neigungs-

winkel des Spiegels von 22° der Durchsichtsraum um die Hälfte abnehmen, bei 45° Neigung = 0 werden.

Für die Untersuchung im umgekehrten Bilde steht dagegen der gleichzeitigen Benützung foliirter Sammellinsen als Reflectoren und Refractoren Nichts im Wege. Sie können hier als Loupen zur Vergrösserung des durch die Objectivlinse erzeugten Luftbildes der Netzhaut recht wohl verwendet werden. Um diess nachzuweisen, muss aber vorerst die Frage beantwortet werden: ob die Brennweite des Glases, insofern es als Spiegel wirkt, mit der Brennweite für durchgelassene Strahlen in jene Uebereinstimmung gebracht werden könne, welche für den bestimmten Zweck der Untersuchung nöthig ist. Eine Erörterung der Werthe für die Brennweiten von Convexlinsen erscheint desshalb nothwendig.

Hier wird ein ähnlicher und noch einfacherer Weg der Rechnung gewählt, als bei der Entwickelung der Gleichungen 1 bis 6.

Behalten wir unsere Figur 1 bei und verfolgen wir die Richtung des eintretenden Strahles, so gilt für denselben ganz in derselben Weise wie früher die Gleichung 1. Auch für den austretenden Strahl gilt die Formel 2, nur verwandelt sich, weil der Strahl zum zweiten Male an der hintern Fläche des Glases gebrochen wird und hindurchgeht,

$$r \text{ in } R, \text{ und } \frac{n}{HF} \text{ in } \frac{n}{FC} = \frac{n}{z}$$

also

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{R} + \frac{n}{z} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Die Wirkung des Glases als Hohlspiegel entfällt hier. Werden nun die Gleichungen 1 und 7 addirt, so ergibt sich

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right)$$

Wird $a = \infty$ so ist

$$\frac{1}{\alpha} = (n-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) = \frac{1}{p_1}$$

wobei p_1 die Brennweite für den durchgehenden Strahl bedeutet, also

$$p_1 = \frac{R\,r}{(n-1)\ (R+r)} \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (8)$$

der Werth für die Brennweite der Sammellinse.

Ist $n = \frac{3}{2}$, wie dieser Werth für gewöhnliche Glaslinsen ohne wesentlichem Fehler angenommen werden kann, so wird für Biconvexlinsen im Allgemeinen

$$p_1 = \frac{2\,R\,r}{R+r}$$

für gleichseitige Sammellinsen

$$p_1 = R$$

für planconvexe

$$p_1 = 2R$$

für concavconvexe, wenn R den Halbmesser der erhabenen, r jenen der hohlen Fläche bedeutet,

$$p_1 = \frac{2\,R\,r}{r-R}$$

Aus einer Vergleichung der Formeln 6 und 8 und ihrer Folgerungen ergibt sich nun, dass die Brennweiten der Linse für die reflectirten und durchgelassenen Strahlen keineswegs im gleichen Verhältnisse stehen. Nehmen wir den Radius R der foliirten convexen Fläche als Grundwerth an, und lassen wir dagegen jenen der unbelegten Fläche von diesem positiven Grundwerthe aus allmälig in den negativen übergehen, so ergibt sich folgendes interessante Verhältniss von R, r, der Brennweite p der Linse als Spiegel und der Brennweite p_1 derselben für die durchgelassenen Strahlen als Sammelglas, welches hier zur bessern Uebersicht in eine Tabelle gebracht ist.

Sammelgläser.

	$R = 1$		
	r	p	p_1
biconvex	1	$\frac{1}{4}$	1
	2	0,28	1,33
	4	0,30	1,60
	8	0,32	1,77
	16	0,32	1,8
	64	0,33	1,9
	4096	0,33	1,9
plan-convex	∞	$\frac{1}{3}$	2
concavconvex	− 4096	0,33	2,0
	− 64	0,33	2,0

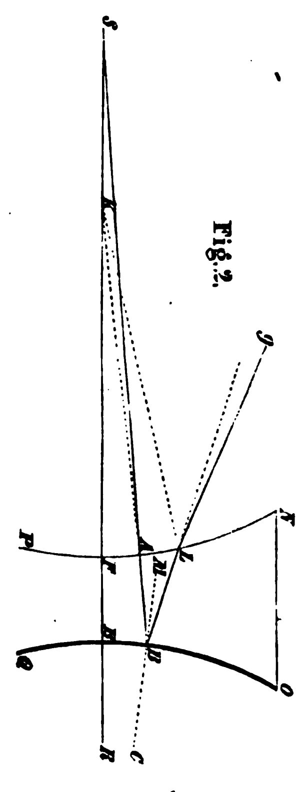
	$R = 1$		
	r	p	p_1
concavconvex	-16	0,34	2,1
	-8	0,34	2,2
	-4	0,36	2,6
	-2	0,40	4
	-1	$\frac{1}{2}$	∞

Für die ophthalmoskopische Untersuchung im umgekehrten Bilde können nur solche Spiegel verwendet werden, welche mindestens 6 Zoll Brennweite haben, ja diese wird am besten zwischen 8 und 10, der mittleren Sehweite endsprechend gewählt. Es können daher, wie aus obiger Tabelle ersichtlich ist, nur solche Gläser hiezu ausgesucht werden, deren foliirte Fläche nach einem Radius von 18 bis 30 Zoll gekrümmt ist. Ist $R = 18$, so schwankt p zwischen 9 und 4,5 Zoll, p_1 zwischen 18 Zoll und ∞. Nehmen wir $R = 18$ und $r = \infty$, so ist $p = 9$ Zoll, $p_1 = 36$ Zoll. Es wird desshalb hier r positiv gewählt werden müssen, und zwar beträchtlich gross, wenn wir eine genügend lange Brennweite des Spiegels erhalten wollen, zugleich aber das Glas als Loupe wirken soll. Nehmen wir $R = 18$, $r = 1152$ Zoll, so ist $p^1 = 19$ $p = 5{,}9$, wir erhalten ein Verhältniss, wie es jedenfalls brauchbar sein wird. Aenderungen

sind hier nun vielfach möglich, doch darf man nicht vergessen, dass, weil eine längere Brennweite bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde durchaus nothwendig ist, man in keinem Falle ein stark sammelndes Correctionsglas wird verwenden können. Es ist aber auch hier eine starke Sammellinse überflüssig, man reicht mit einem Glase von 15 — 20 Zoll p_1 immer aus. —

Dass also Convexlinsen gleichzeitig als Reflectoren und als Oculargläser bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde mit Vortheil verwendbar sind, dürfte nach dieser Erörterung wohl kaum einem Zweifel unterliegen.

Es sei hier noch nebenbei erwähnt, dass sich foliirte Sammellinsen auch als Loupen zur Untersuchung des Auges im auffallenden Lichte empfehlen. Da man sich mit der Loupe dem beobachteten Auge sehr nähert, so kann p kurz gewählt werden; in diesem Falle ist der Werth von p_1 gleichfalls so gering, dass die gewünschte Vergrösserung erreicht werden kann, Belegte biconvexe Gläser, bei denen R nicht unter 6 Zoll beträgt, und r gleichfalls nicht viel von dieser Ziffer abweicht, werden sich zu Loupen am besten eignen.



Gehen wir nun zur Betrachtung der **Wirkung belegter Zerstreuungsgläser** über, und wählen wir vorerst eine Biconcavlinse $NOPQ$ Fig. 2, deren Axe SR ist. Es falle ein Lichtstrahl SA auf die

concave Vorderfläche NP, so wird er aus Luft in Glas zum Einfallslothe KA gebrochen, demnach divergirend von A nach B fortgehen. Im Punkte B trifft er die belegte Fläche OQ der Linse, welche als Kugelspiegel mit dem bis zur Achse verlängert gedachten Radius BC wirkt. Es mus also ABM gleich sein MBL, der reflectirte Strahl BL fällt daher noch mehr divergent auf die Fläche NP zurück, wird in L abermals gebrochen, und zwar aus Glas in Luft weg vom Einfalls-Lothe KL, und nimmt seine Richtung nach g. *Die Linse wirkt demnach als Kugelspiegel.*

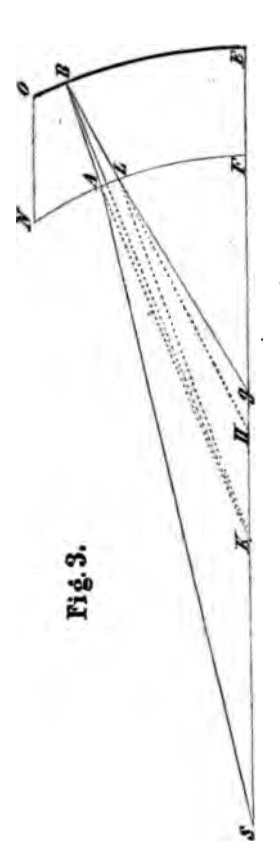


Fig. 3.

Anders gestaltet sich das Verhältniss, wenn wir eine belegte periskopische Zerstreuungslinse von bestimmten Halbmessern wählen. Es sei Fig. 3. $NOFE$ eine Linse, bei welcher der Halbmesser KF der unbelegten concaven Fläche kleiner als jener KE der belegten convexen Fläche ist, aber doch mehr als $\frac{KE}{3}$ beträgt. (In der Figur sind die Centra der Einfachheit wegen zusammenfallend gezeichnet.) Kommt ein Strahl von S und fällt auf die Fläche NF in A, so wird er nach der Fläche OE divergirend gebrochen. Hier wird er jedoch convergirend reflectirt und nimmt die Richtung BL. Im Punkte L aus Glas in Luft tretend wird er abermals gebrochen und nimmt nun die Richtung LG. Da dieselbe convergirend ist, muss der Strahl die Achse schneiden, — *die Linse wirkt als Hohlspiegel.*

Aus der Construction ist demnach bereits ersichtlich, dass foliirte Zerstreuungslinsen je nach dem Verhältnisse ihrer beiden Flächen entweder als Kugel- oder als Hohlspiegel wirken können. Die Berechnung ergibt dasselbe Resultat. Der Gang derselben ist hier ganz ebenso, wie bei foliirten Convexlinsen, nur muss für gleichseitige Concavlinsen sowol r als R negativ genommen werden, und die Gleichung für den Hohlspiegel verwandelt sich in jene für den Kugelspiegel. Es folgt daraus, dass die Formel (6) für Zerstreuunglinsen übergeht in

$$p = \frac{Rr}{-2nr - 2(n-1)R}$$

$$= -\frac{Rr}{2nr + 2(n-1)R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Dieser Werth gilt zunächst für biconcave Spiegel; ihre Brennweite ist negativ. — Wäre die Linse planconcav, und die plane Fläche belegt, so ist $R = \infty$, also

$$p = -\frac{r}{2(n-1)}$$

Wird die concave Fläche belegt, also $r = \infty$, so ist

$$p = -\frac{R}{n2}$$

Ist die belegte Fläche convex, so wird R positiv, r negativ; es ist dann

$$p = \frac{Rr}{2nr - 2(n-1)R}$$

Nehmen wir das Brechungsverhältniss für Glas mit $\frac{3}{2}$ an, so ist für Biconcavlinsen

$$p = -\frac{Rr}{3r + R}$$

für planconcave mit belegter planer Fläche

$$p = -r$$

und mit belegter concaver Fläche

$$p = -\frac{R}{3}$$

für convexconcave mit belegter convexer Fläche

$$p = \frac{Rr}{3r - R} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

In letzterer Gleichung (10) ergibt sich das für uns wichtige Resultat, dass, wenn $R = r$, so ist $p = \frac{R}{2}$ und positiv; nimmt der Werth von r von da an ab, während R constant bleibt, so wächst die positive Brennweite des Spiegels, und zwar:

ist $r = \frac{R}{2}$, so wird $p = R$

ist $r = \frac{R}{3}$, so ist $p = \infty$

Sinkt r unter letzteren Werth, so wird p negativ, und zwar bei $r = \frac{R}{4}$ bereits $p = -R$.

Alle biconcaven foliirten Zerstreuungslinsen wirken demnach als Kugelspiegel, ebenso alle planconcaven und von den convexconcaven jene, bei denen $r < \frac{R}{3}$.

Ist aber bei periskopischen Zerstreuungslinsen $r > \frac{R}{3}$ und $< R$, so wirkt die Linse als Sammelspiegel.

Es kann demnach keinem Zweifel unterliegen, dass Zerstreuungslinsen bei dem letztgenannten Verhältnisse von R und r als Beleuchtungsspiegel ebensowohl verwendet werden können, wie Sammel-

linsen, und zwar kann hier gleichfalls die Brennweite beliebig gross gewählt werden. Wollen wir solche Linsen aber zur Untersuchung des Augengrundes benützen, ohne sie in der Mitte zu durchbohren, sollen sie demnach gleichzeitig als Zerstreuungsgläser zur Correction der aus dem beobachteten Auge kommenden Lichtstrahlen dienen, so ist leicht ersichtlich, dass sie lediglich bei der Untersuchung im aufrechten Bilde, wo Zerstreuungslinsen als Oculargläser angewendet werden, brauchbar sein können.

Es ist nun hier abermals vorerst die Frage zu lösen, ob die Brennweite p des Linsenspiegels in die erforderliche Uebereinstimmung mit der Brennweite p_1 der Linse, insofern diese als Zerstreuungsglas für durchgehendes Licht wirkt, zu bringen ist?

Da die Formel für die Brennweite der Zerstreuungslinsen sich ganz in derselben Weise, wie für Sammellinsen gezeigt worden ist, aus den summirten Werthen für den ein- und austretenden Strahl ergibt, nur mit dem Unterschiede, dass der Krümmungshalbmesser für die hohlen Flächen negativ genommen wird, so geht die Gleichung (8) für Sammellinsen bei biconcaven Zerstreuungsgläsern über in

$$p_1 = -\frac{Rr}{(n-1)(R+r)} \quad \ldots\ldots \quad (11)$$

ist das Glas planconcav, so wird $r = \infty$ oder $R = \infty$ und daher

$$p_1 = -\frac{R}{n-1}$$

oder

$$p_1 = -\frac{r}{n-1}$$

für convexconcave Gläser ist

$$p_1 = \frac{-Rr}{(n-1)(R-r)}$$

Nehmen wir nun wieder das Brechungsverhältniss n für Glas mit $\frac{3}{2}$ an, so ist für biconcave Linsen

$$p_1 = -\frac{2Rr}{R+r}$$

für planconcave

$$p_1 = -2R$$

oder

$$p_1 = -2r$$

für convexconcave (periskopische)

$$p_1 = \frac{-2Rr}{R-r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Für unsern Zweck ist es nun besonders von Wichtigkeit die Aenderung der Werthe von p_1 in der letzten Formel (12) zu kennen, da, wie wir gesehen haben, nur periskopische Gläser, und zwar solche, bei denen der Krümmungshalbmesser der offenen hohlen Fläche zwischen $\frac{1}{3}$ und 1 des Werthes des Radius R der belegten convexen schwankt, als Reflectoren verwendbar sind.

Ist bei solchen Gläsern $r = R$, so wird $p_1 = \infty$

wird $r = \frac{R}{2}$, so ist $p_1 = -2\ R$,

wird $r = \frac{R}{3}$, so ist $p_1 = -R$.

Die Zerstreuungsweite der Strahlen bei diesen Gläsern schwankt demnach zwischen ∞ und $-R$. Stellen wir nun die gefundenen Werthe für p und p_1 zusammen, um das Verhältniss der Aenderungen derselben bei den verschiedenen Werthen von p überschauen zu können, und nehmen wir R hiebei als Einheit an, so erhalten wir folgende Tabelle.

R	r	p	p_1
$+1$	-1	$+\frac{1}{2}$	∞
$+1$	$-\frac{3}{4}$	$+\frac{3}{5}$	-6
$+1$	$-\frac{2}{3}$	$+\frac{2}{3}$	-4
$+1$	$-\frac{1}{2}$	$+1$	-2
$+1$	$-\frac{1}{3}$	∞	-1

Aus diesen Erörterungen lassen sich nun die Grundsätze für die Anwendung foliirter Zerstreuungslinsen bei der Untersuchung des Augengrundes im aufrechten Bilde ohne Schwierigkeit ableiten.

Nur die periskopisch geschliffenen Zerstreuungsgläser und zwar jene, bei denen der Werth des Krümmungshalbmessers der offenen concaven Fläche zwischen 1 und $^1/_3$ jenes der belegten convexen Fläche liegt, können, da sie convergirende Strahlen aussenden, zur verstärkten Beleuchtung des Augengrundes verwendet werden.

Will man solche Linsen gleichzeitig als Correctionsgläser zur Durchsicht benützen, zu welchem Zwecke man in der Mitte des Glases eine Stelle des Belages entfernt, so muss man darauf Rücksicht nehmen, dass die Zerstreuungsweite p_1 des Glases im umgekehrten Verhältnisse zur Brennweite p zu- und abnimmt.

Spiegellinsen von kurzer Brennweite p haben im Allgemeinen eine beträchtliche Zerstreuungsweite p_1 und um-

gekehrt. Diess möchte auf den ersten Blick gegen die Zulässigkeit solcher Linsen für die Untersuchung im aufrechten Bilde sprechen. Doch lässt sich das Missverhältniss der Brennweiten ganz wohl ausgleichen. Da nämlich p_{I} niemals kleiner werden darf als R, so wird es schon hiedurch geboten, wenn man, wie gewöhnlich, ziemlich scharfe Zerstreuungsgläser verwenden will, R klein zu wählen. Diess begünstigt gleichzeitig die Auffindung der für bestimmte Fälle gewünschten Uebereinstimmung der Brennweiten. Nehmen wir z. B. ein Glas, bei welchem $R = 6$ Zoll ist, so wird sich der Werth für p und p_{I} bei den Aenderungen des Krümmungsradius r der hohlen Fläche in folgender Weise stellen:

r	p	p_{I}
$-1R$	$+3$	∞
$-\frac{3}{4}R$	$+3{,}6$	-36
$-\frac{1}{2}R$	$+6$	-12
$-\frac{1}{3}R$	∞	-6

Wird also r hier $= \frac{1}{2}R$, so ist $p = 6$ Zoll und $p_{\mathrm{I}} = 12$ Zoll, ein Verhältniss der Brennweiten, wie es wohl für sehr viele Fälle der Untersuchung des Augengrundes passend ist, welches aber, wie die Rechnung zeigt, unbeschadet der Wirkung der Beleuchtung, zu Gunsten der erforderten Correction noch eine ziemliche Aenderung zulässt.

Nehmen wir aber $R = 5$, oder 4 oder 3 Zoll an, so gestaltet sich das Verhältniss von p und p_1 für unsern Zweck noch günstiger. —

Ueber die practische Verwerthung des angeregten Gegenstandes seien hier die bisherigen Erfahrungen noch mitgetheilt. Gleich nach Bekanntwerdung des Augenspiegels von Dr. Klaunig, welcher aus einer in der Mitte durchbohrten foliirten Biconvexlinse besteht, habe ich, da mir — (aus den bereits oben entwickelten Gründen, und weil die ein Minimum betragende Abschwächung des Hornhautreflexes in praxi eben nicht sehr hoch anzuschlagen ist) — diese Modification des Reflectors keine Vortheile im Vergleich mit dem gewöhnlichen Hohlspiegel darzubieten schien, Versuche mit belegten, undurchbohrten, periskopischen Zerstreuungslinsen angestellt, welche auf den ersten Blick viel geeigneter schienen, eine wesentliche Modification und Vereinfachung des ophthalmoskopischen Apparates zu ermöglichen, indem sie für die Untersuchung im aufrechten Bilde gleichzeitig als Reflectoren und zur Correction verwendbar sein müssen. Die ersten Versuche mit solchen Linsen, welche anfangs nur mit Lampenruss und Belagpapier oder angelegter Zinnfolie spiegelnd gemacht wurden, ergaben allerdings eine schwache Beleuchtung, auch fand sich unter den vorräthigen Linsen nur selten eine, deren Zerstreuungsweite mit einer positiven Spiegel-Brennweite correspondirte. Doch wurde, auch abgesehen von der aus der Theorie folgenden Nothwendigkeit, schon mit einzelnen solchen Gläsern das thatsächliche Gelingen und die erreichbare Einfachheit bei dieser Art von Untersuchung ausser Zweifel gestellt, und in den ophthalmoskopischen Vorträgen wiederholt hervorgehoben. Die Sache wurde aber erst neuerlich zum Abschlusse gebracht, nachdem namentlich mit einigen glücklich gewählten Spiegeln, welche Herrn Med. Cand. Liebel, der sich auf meine Aufforderung freundlichst bereit gefunden hatte, eine Anzahl von Gläsern behufs anzustellender genauerer

Versuche selbst zu foliiren, ausgezeichnet gelungen sind, der volle Beleuchtungseffekt eines Hohlspiegels erreicht, und bei den verschiedensten Individuen der Augengrund mit dem besten Erfolge zur Anschauung gebracht war. Die Spiegel werden jetzt in meiner Abtheilung täglich gebraucht.

Bei der Foliirung der käuflichen Linsen, welche nicht immer die entsprechende Spiegelbrennweite hatten, stellte sich zugleich heraus, dass auch mit Spiegeln von sehr beträchtlicher Brennweite, ja selbst wenn p negativ wird, sobald nur die negative Brennweite sehr gross ist, die Strahlen demnach mit geringerer Divergenz reflectirt werden, als sie auffielen, recht gute Beleuchtungseffecte erzielt werden, und die Details des Augengrundes sehr deutlich zur Anschauung kommen. Es wurde dadurch abermals der Beweis geliefert, dass Digressionen von den Forderungen der Theorie in der Praxis immer bis zu einer gewissen Grenze gestattet sind.

Die Form unserer Spiegel ist natürlich höchst einfach. Wie ich sie anwende, bestehen sie aus einem Linsenglase, das am besten kreisrund gewählt wird, 1 Zoll im Durchmesser hat, und an der hintern convexen Seite foliirt ist. Die Folie wurde bisher durch Papier geschützt, welches am Rande des Glases festgeklebt ist. Besser wäre wohl eine Metallfassung. In der Mitte des Glases ist eine kleine Partie der Folie Behufs der Durchsicht entfernt. Man reicht mit 4 solchen Spiegelchen N, 4, 6, 8, 12 für gewöhnliche Untersuchungen im aufrechten Bilde aus, doch ist es für genauere Untersuchungen räthlich, auch die übrigen, seltener benöthigten foliirten Concavgläser im Vorrath zu haben. 6 — 8 solcher foliirter Gläschen werden dann, in ein Etui gebracht, den vollständigen äusserst compendiösen Apparat zur Untersuchung im aufrechten Bilde ausmachen. — Was die Anwendung des Apparates anbelangt, so wird das Gläschen bei der Untersuchung des Augengrundes an seinem Rande zwischen Daumen und Zeigefinger gefasst, und schräg

dem Lichte so zugewendet, dass die leuchtende Scheibe auf das beobachtete Auge fällt. Das beobachtende Auge steht unmittelbar hinter dem Glase.

Die Verbindung der Spiegel mit einer Handhabe halte ich für überflüssig, weil der Wechsel der Gläser dadurch aufgehalten würde. Sie könnten allenfalls in eine federnde Brillenfassung, welche mit einem senkrechten Stabe als Handhabe in Verbindung steht, eingelegt werden. Ich habe auch daran gedacht, Behufs des bequemeren Wechsels der Spiegel 4—6 derselben in einer Art *Rekoss*'scher Drehscheibe zu befestigen. Die Scheibe könnte in der Achse mit einer Handhabe verbunden sein. Jedoch würde hiedurch der Apparat jedenfalls vergrössert, der Vortheil bequemer Uebertragbarkeit desselben ginge verloren.

Die einfache Handhabung, der leichte Wechsel der Correctionsgläser, die compendiöse Form des Ganzen, der entsprechende Corrections- und Reflexionsapparat, ja das Zusammenschmelzen beider in eine Form, das gestattete unmittelbare Anlegen des beobachtenden Auges an den Reflector, die ungehinderte, beliebige Näherung an das beobachtete Auge — diess Alles dürfte unserem Augenspiegel wohl zu einiger Empfehlung dienen.

Was aber hier ferner hervorzuheben sein dürfte, ist ebenso die Billigkeit desselben als seine leichte Ausführbarkeit. Jedermann kann nämlich das Foliiren des Glases sehr leicht selbst vornehmen.

Zwei Methoden der Foliirung, die ich in kurzer Zeit erlernt habe, will ich desshalb kurz beschreiben. Sind sie auch nicht neu, so sind sie doch Aerzten nicht allgemein bekannt, und stehen daher hier wohl nicht ganz am unrechten Platze. —

Die erste, gewöhnlichste, besteht in dem Belegen mit Quecksilberamalgam. Man macht einen Brei aus feinem (Stuckator-) Gyps, und breitet ihn, 3''' dick, 2'' im Durchmesser auf einem Brettchen aus. Die Linse, welche zum Fo-

liiren bestimmt ist, wird mit der zu belegenden Fläche in die Paste eingedrückt, doch nicht tiefer als ihre Dicke beträgt. So bleibt sie liegen, bis die Gypsmasse hart und trocken geworden ist. Hierauf hebt man sie heraus, und breitet in der Form eine doppelte Lage von Zinnfolie möglichst glatt aus. Auf diese giesst man einige Tropfen Quecksilber, und lässt es mit der Zinnfolie im ganzen Umfange in Berührung und Verquickung kommen. Es bildet sich meist stellenweise an der Oberfläche des Quecksilbers ein zartes Häutchen. Dieses wird entfernt, indem man mit der gereinigten Oberfläche des zu foliirenden Glases vorsichtig über die Oberfläche des Quecksilbers hinstreicht, so lange, bis sie vollkommen spiegelt. Hierauf bringt man das Glas mit der sorgfältig gereinigten, zu belegenden, Oberfläche von der Seite her in die Form, druckt es darin fest, und erhält den Druck dauernd durch eine Belastung. Man kann z. B. das Ganze zwischen zwei Blätter eines Buches hineinschieben, und dieses hierauf mit Bindfaden fest zuschnüren. Das Buch stellt man gerade auf, damit das überschüssige Quecksilber allmälig ablaufe. Nach zwei Tagen kann man das Glas bereits aus der Form herausheben, die Ueberklebung der foliirten Fläche mit Papier vornehmen, und den Spiegel sogleich benützen.

Die zweite umständlichere Methode besteht in Folgendem: Man giesst eine verdünnte Lösung von Silbernitrat in ein Glas mit ebenem Boden, auf welchen man die zu foliirende Linse gebracht hat. Die Lösung wird mit Aldehyd versetzt, mässig erwärmt, und hierauf werden einige Tropfen Aetzammoniak hinzugesetzt. Das Silber wird reducirt, und schlägt sich metallisch an den Wänden des Gefässes und den Oberflächen des Glases nieder. —

Diese Methode erfordert jedenfalls viel Uebung, um das rechte Maas der Erwärmung der Flüssigkeit, den Verdünnungsgrad der Silberlösung, und die Quantität der Zusätze zu finden. Der Beschlag wird oft dunkel oder fleckig; da

übrigens der Silberbeschlag nur sehr zart und dünn ist, so ist die reflectirende Wirkung solcher Gläser — so weit wenigstens die eigene Erfahrung reicht — niemals so stark, als bei jenen, welche mit Quecksilberamalgam foliirt sind. Ich möchte demnach die Belegung mit Amalgam mehr empfehlen.

Was nun noch die Auswahl der zu foliirenden Gläser betrifft, so dürfte es am räthlichsten sein, für die erforderlichen Brennweiten der Linsen, insofern sie als Spiegel und als Zerstreuungsgläser wirken sollen, die Krümmungshalbmesser zu berechnen, und sich darnach erst das Glas schleifen zu lassen. Kann diess nicht geschehen, dann müssen aus dem Vorrath des Optikers die entsprechenden Gläser durch den Versuch ausgewählt werden. Letzteres ist freilich umständlich genug. Leider sind bei den käuflichen Gläsern die Krümmungshalbmesser ihrer Flächen niemals, die Ziffern der Zerstreuungsweiten oft ganz unrichtig angegeben. Eine experimentelle Eruirung der Krümmungsradien ist nun mindestens bei der convexen Fläche der periskopischen Gläser sehr schwierig. Auf dem Wege der Rechnung wird sich, sobald diese Grössen nicht bekannt sind, die Spiegelbrennweite eines Glases demnach nicht bestimmen lassen. Wohl aber die conjugirte Vereinigungsweite desselben auf dem Wege des Versuches. Hiezu empfehle ich folgendes einfache Verfahren: Man giesse in ein auf dem Tische festliegendes Uhrglas oder anderes Schälchen gereinigtes Quecksilber, lege die periskopische Zerstreuungslinse mit der convexen Fläche darauf, und prüfe nun die Vereinigungsweite der Strahlen für die Spiegelung, indem man — bei Verdunkelung des Locales, das Licht einer über dem Tische stehenden Zuglampe darauf fallen lässt. Die reflectirten Strahlen fängt man mit einem in der Hand über der Linse gehaltenen Schirm auf. Die Gläser leiden bei diesem Versuche gar nicht, und man kann in kürzester Zeit eine grosse Zahl derselben auf ihren Effect als Spiegel prüfen.

Schliesslich folgt hier das berechnete Verhältniss der Krümmungsradien für jene periskopischen Spiegellinsen, welche bei der Untersuchung im aufrechten Bilde am häufigsten gebraucht werden. Die Zahlen beziehen sich auf Zoll.

R	r	p	p_1
6	— 3	+ 6	— 12
4	— 2 ¼	+ 3,2	— 10
4	— 2	+ 4	— 8
3	— 1½	+ 3	— 6
4	— 1 ½	+ 12	— 4,8
2	— 1	+ 2	— 4

Es ist in dieser Tabelle darauf Rücksicht genommen, dass jene Optiker, welche sich mit dem Schleifen von Linsengläsern beschäftigen, für die Herstellung von schärfern Gläsern gewöhnlich nur solche Kugelabschnitte vorräthig haben, deren Halbmesser von ¼ zu ¼ Zoll ab- und zunehmen. —

Die positive Brennweite p des Glases als Spiegel ist in obiger Tabelle für jedes Glas eine andere, und schwankt

im Allgemeinen zwischen 2 und 12 Zoll. So wünschenswerth es auch wäre, p für alle benützten Werthe von p_1 constant zu erhalten, so ist dies doch bei unsern Spiegeln unausführbar; die Erfahrung lehrt übrigens, dass hiedurch der Beleuchtungseffect nicht wesentlich gestört werde.

